

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie
Studijní obor: Genetika, molekulární biologie a virologie



Bc. Petr Čečetka

Analýza vybraných parametrů inbrední a hybridní kukuřice stresované zaplavením

Analysis of selected parameters inbred and hybrid maize stressed by flooding

Diplomová práce

Školitel: RNDr. Marie Kočová, CSc

Konzultant: doc. RNDr. Dana Holá, Ph.D.

Praha, 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 13.8.2018

Podpis

Rád bych poděkoval RNDr. Marii Kočové, CsC. za její trpělivost, odborné rady, optimismus a velkou podporu, která mi pomohla dopsat moji diplomovou práci. Můj velký dík patří rovněž ostatním členům Laboratoře Genetiky rostlin doc. RNDr. Daně Holé, PhD. a RNDr. Olze Rothové, PhD. a svým kolegům Hanně Markové a Kláře Frimlové za jejich pomoc při laboratorních pokusech. Dále bych chtěl poděkovat doc RNDr. Františku Hniličkovi, CSc. za zapůjčení přístroje. Na závěr děkuji své rodině za nesmírnou podporu v průběhu celého mého studia.

Abstrakt

Zaplavení je jeden z významných stresových faktorů ovlivňující růst a vývoj rostlin a jejich produkci. Vlivem antropogenní činnosti dochází k postupným změnám klimatu a v důsledku toho k následným změnám distribuce srážek, kdy se střídají období optimálních podmínek, sucha a nadměrného zaplavení, s nimiž se musí rostliny umět vyrovnat. Cílem mé diplomové práce bylo zhodnotit vliv zaplavení a následné obnovy normálních podmínek pěstování u dvou inbredních linií kukuřice seté (*Zea mays* L.) (2023 a CE704) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023), které byly vystaveny stresu zaplavením a následné obnově v různých fázích ontogenetického vývoje. U rostlin vystavených zaplavení, následné obnově nebo pěstovaných po celou dobu v optimálních podmínkách byly měřeny různé morfologické a fyziologické parametry, parametry vodního stavu a parametry, které určují míru poškození buněčných struktur nebo charakterizují obranné mechanismy rostliny navozené stresovou reakcí. Zaplavení rostlin vedlo často k nárůstu hodnot rychlosti transpirace, stomatální vodivosti, obsahu MDA, obsahu H₂O₂ a aktivity katalázy. U ostatních parametrů zaplavení způsobilo obvykle pokles hodnot (morfologické parametry, efektivita využití vody, obsah fotosyntetických pigmentů, rychlost čisté fotosyntézy, fluorescence chlorofylu *a*). Po návratu do optimálních podmínek docházelo u většiny sledovaných parametrů jenom k částečné obnově původních hodnot. V reakci jednotlivých genotypů se projevila značná vnitrodruhová variabilita, nejčastěji se lišily rodičovské linie od kříženců jak v podmínkách zaplavení, tak i u rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách. V případě morfologických a výnosových parametrů reciprocí kříženci reagovali na zaplavení citlivěji oproti rodičovským liniím, u fotosyntetických parametrů, parametrů vodního stavu rostlin a parametrů buněčného poškození nebyla reakce rostlin jednoznačná, u některých parametrů reagovaly citlivěji rodičovské linie a u jiných naopak kříženci. Na zaplavení i následnou obnovu reagovaly odlišně mladší a starší rostliny, kdy ve většině případů mladší rostliny byly více ovlivněny zaplavením, ale lépe se ze stresových podmínek vzpamatovávaly během následné obnovy.

Klíčová slova: zaplavení, obnova, kukuřice, peroxid vodíku, poškození membrán, parametry výměny plynů, vývoj rostlin

Abstract

Flooding is an important stress factor that influences the growth of plants and their production. Anthropogenic activity is causing gradual changes in the climate, consequently triggering changes in the distribution of precipitation. This leads to the conditions alternating between optimal, draughts, and excessive flooding that the plants have to cope with. The aim of my diploma thesis was to evaluate the consequences of flooding and the subsequent restoration of normal cultivating conditions of two inbred lines of maize (*Zea mays* L.) (2023 and CE704) and their reciprocal hybrids (2023xCE704, CE704x2023) that were exposed to the stress of flooding and subsequent restoration during several phases of their ontogenetic growth. For both the plants exposed to flooding and the subsequent restoration and the plants grown in optimal conditions only, there were several morphologic and physiological parameters, parameters related to the water status, and parameters that determine the extent of the damage done to the cellular structure or characterize the defense mechanisms employed by the plant in reaction to the stress. Flooding of the plants often led to an increase in their transpiration speed, stomatal conductivity, MDA and H₂O₂ contents, and catalase activity. For other parameters, the flooding usually led to a decrease in their values (the morphological parameters, water usage efficiency, photosynthetic pigments content, photosynthesis speed, and the chlorophyll *a* fluorescence). The return to the normal conditions meant only a partial restoration to the original values for most of the parameters. Individual genotypes showed a significant variability between individual interspecies: in most cases, the parent lineages differed from the hybrids for both the plants exposed to flooding and the plants cultivated in optimal conditions. As far as the morphological and yield parameters go, the hybrids were more sensitive towards flooding than the parents; the photosynthetic parameters, the water status parameters, and the parameters of cellular damage did not show conclusive tendency as for some of them the parent plants were more sensitive and for others the hybrids were more sensitive. Reactions to flooding and the restoration were also different for older and younger plants: in most of the cases, flooding had greater impact on younger plants but, at the same time, younger plants showed faster recovery from the stressful conditions during the subsequent restoration.

Key words: flooding, recovery, maize, hydrogen peroxide, membrane injury index, gas change parameters, plant development

Obsah

1.	Úvod	11
2.	Cíle a hypotézy práce	12
3.	Literární přehled.....	13
3.1.	Výnosové a morfologické charakteristiky	13
3.2	Parametry vodního stavu rostlin.....	15
3.2.1	Relativní obsah vody	15
3.2.2.	Stomatální vodivost.....	15
3.2.3.	Rychlost transpirace	16
3.2.4.	Efektivita využití vody	17
3.3.	Fotosyntetické parametry.....	18
3.3.1	Rychlost fotosyntézy	18
3.3.2.	Obsah fotosyntetických pigmentů	19
3.3.2.1.	Obsah chlorofylu	19
3.3.2.2.	Obsah karotenoidů.....	20
3.3.3.	Fluorescence chlorofylu <i>a</i>	21
3.4.	Antioxidanty	23
3.4.1.	Kataláza	23
3.4.2.	Superoxid dismutáza	24
3.4.3.	Askorbát peroxidáza.....	26
3.4.4.	Kyselina askorbová	28
3.4.5.	Prolin	28
3.5.	Poškození buněk	29
3.5.1.	Peroxid vodíku.....	29
3.5.2.	Malondialdehyd	30
3.5.3.	Poškození membrán.....	31
4.	Materiál a metodika.....	48
4.1.	Pokusný materiál.....	48
4.1.1.	Kukuřice setá.....	48
4.2.	Organizace pokusů	48
4.2.1.	Podmínky pěstování pokusných rostlin před zahájením stresu zaplavením	49
4.2.2.	Pěstování rostlin v podmínkách nadměrného zaplavení	52
4.2.3.	Obnova	53
4.3.	Metodika	55
4.3.1.	Morfologické parametry	55

4.3.2.	Vodní stav rostlin	57
4.3.2.1.	Relativní obsah vody	57
4.3.2.2.	Gazometrické parametry	57
4.3.3.	Fotosyntetické parametry	59
4.3.3.1.	Gazometrické parametry	59
4.3.3.2.	Fluorescence chlorofylu	59
4.3.3.3.	Fotosyntetické pigmenty.....	61
4.3.3.4.	Indexy spektrální odrazivosti	61
4.3.4.	Parametry poškození buněk.....	62
4.3.4.1.	Index poškození membrán.....	62
4.3.4.2.	Obsah malondialdehydu	62
4.3.4.3.	Obsah peroxidu vodíku	63
4.3.4.4.	Aktivita katalázy	64
4.3.5.	Použité přístroje	65
4.3.6.	Použité chemikálie	66
4.1.1.	Statistické vyhodnocení výsledků	67
5.	Výsledky	69
5.1.1.	Morfologické parametry	69
5.1.2.	Vodní stav rostlin	82
5.2.1.	Rychlost transpirace.....	82
5.2.2.	Vodivost průduchů	84
5.2.3.	Efektivní využití vody.....	86
5.1.3.	Fotosyntetické parametry.....	88
5.3.1.	Rychlost čisté fotosyntézy	88
5.3.2.	Primární fotosyntetické procesy	91
5.3.3.	Fotosyntetické pigmenty.....	105
5.4.	Parametry poškození buněk.....	110
5.4.1.	Index poškození membrán.....	110
5.4.2.	Obsah malondiadehydu	112
5.4.3.	Obsah peroxidu vodíku	114
5.4.4.	Aktivita katalázy	117
5.5.	Statistické vyhodnocení výsledků	119
5.5.1.	Výsledky analýz rozptylů	119
5.5.2.	Shrnutí výsledků	138
5.5.3.	Výsledky korelační analýzy.....	140
6.	Diskuze	146

6.1.	Morfologické parametry	146
6.2.	Parametry vodního stavu rostlin.....	147
6.3.	Fotosyntetické parametry.....	149
6.4.	Antioxidanty	151
6.5.	Poškození buněk	152
7.	Souhrn	154
8.	Seznam použité literatury	155

Seznam zkratek

ABS/RC	průměrný tok zachycených fotonů vyjádřený na jedno PSII RC (zdánlivá velikost světlosběrné antény aktivního PSII)
CHFL	celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa
CHFLS	celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina
Chl LP	obsah celkového chlorofylu (mg/m^2)
Chl S	obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)
Chl a/b	poměr chlorofylu a/b
Chl a LP	obsah chlorofylu a (mg/m^2)
Chl a S	obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)
Chl b LP	obsah chlorofylu b (mg/m^2)
Chl b S	obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)
Chl/Kar	poměr chlorofylu / celkových karotenoidů
DI0/RC	tok disipované energie vyjádřený na jedno PSII RC
A	rychlost transpirace
ET0/RC	tok přenosu elektronů z Q_A na Q_B vyjádřený na jedno PSII RC
F0	minimální výtěžek fluorescence
gS	vodivost průduchů
H ₂ O ₂	peroxid vodíku
H4L	hmotnost 4. listu čerstvá biomasa
H5L	hmotnost 5. listu čerstvá biomasa
H6L	hmotnost 6. listu čerstvá biomasa
H8L	hmotnost 8. listu čerstvá biomasa
H4LS	hmotnost 4. listu sušina
H5LS	hmotnost 5. listu sušina
H6LS	hmotnost 6. listu sušina
H8LS	hmotnost 8. listu sušina
HCNČ	hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa
HCNČS	hmotnost celé nadzemní části sušina
HCR	hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa
HCRS	hmotnost celé rostliny sušina
HK	hmotnost kořenů čerstvá biomasa
HKS	hmotnost kořenů sušina
IPM	index poškození membrán
Kar PL	obsah celkových karotenoidů (mg/m^2)
Kar S	obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)
Kat	kataláza
MDA	malondyaldehyd
M0	přibližný počáteční sklon OJIP křivky fluorescenčního přechodového jevu
NDVI	index používaný pro stanovení obsahu chlorofylu
P4L	plocha 4. listu
P5L	plocha 5. listu
P6L	plocha 6. listu
P8L	plocha 8. listu
PFL	celková plocha všech fotosyntetizujících listů
PI ABS	performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci Q_B
PI TOT	performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci koncových akceptorů PSI
PN	čistá rychlost fotosyntézy
PPVL	počet plně vyvinutých listů
PRI	index používaný pro stanovení obsahu karotenoidů

PSI	fotosystém I
PSII	fotosystém II
PVL	počet viditelných listů
RE0/RC	tok přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI vyjádřený na jedno PSII RC
ROS	Reaktivní kyslíkové druhy
RWC	relativní obsah vody
SpHm	specifická hmotnost listu
TBA	kyselina thiobarbiturová
TP0/RC	maximální tok zachycených excitonů vyjádřený na jedno PSII RC
V1	výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu
V2	kolmá výška rostliny ke špičce listu ve vrcholové růžici
VI	relativní variabilní fluorescence v bodě I
VJ	relativní variabilní fluorescence v bodě J
WUE	okamžitá efektivita využití vody
WUEi	vnitřní efektivita využití vody
Γ RC	pravděpodobnost, že PSII chlorofyl funguje jako RC
Δ RE0	účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z Q_B až na koncové akceptory PSI
Φ D0	kvantový výtěžek disipace zachycené energie
Φ E0	kvantový výtěžek toku přenosu elektronů z Q_A na Q_B
Φ P0	maximální kvantový výtěžek fotochemické přeměny energie v PSII
Φ RE0	kvantový výtěžek toku přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI
Ψ E0	účinnost/pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z Q_A na Q_B
Ψ RE0	účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen až na koncové akceptory PSI

1. Úvod

Jedním z nejvýznamnějších abiotických faktorů, které ovlivňují zemědělskou produkci, je nerovnoměrná distribuce srážek způsobená změnami klimatu. Postupně dochází k vyššímu výskytu četnosti záplav, které jsou způsobeny přívalovými či vytrvalými dešti, špatnou strukturou zemědělské půdy a špatnými agronomickými postupy. Zaplavení představuje kombinovaný účinek dvou stresů hypoxie a oxidačního stresu, který může přetrvávat po navrácení rostliny do optimálních podmínek.

Během zaplavení dochází k rozsáhlým změnám převážně v kořenovém systému rostlin, který nepřímo ovlivňuje i nadzemní části rostlin. Ve vodním prostředí může docházet ke snížení difuze plynů až 10 000krát, což vede k postupnému vyčerpání kyslíku v kořenovém systému. Toto vyčerpání kyslíku je urychleno i půdními mikroorganismy. Pro rostlinu dochází k vyčerpání akceptoru elektronů v dýchacím řetězci a zároveň dochází ke změně vnějšího prostředí z oxidačního na redukční. Půdní mikroorganismy přecházejí na anaerobní způsob života a s touto změnou dochází k postupnému hromadění jejich metabolitů např. organické kyseliny s krátkým uhlovodíkovým řetězcem, které jsou pro rostliny toxické. Vyčerpání akceptoru elektronu vede k aerobní respiraci, kdy dochází k poklesu tvorby ATP a akumulaci NADH, což vede k energetické krizi. Tuto krizi rostliny řeší pomocí mobilizace zásobních sacharidů a jejich použití pro anaerobní glykolýzu. Během ní je potřeba regenerovat NAD^+ , což se děje pomocí mléčné či alkoholové fermentace. Zároveň dochází i k tvorbě kyslíkových radikálů, které zvyšují rozsah poškození buněk.

Odpověď rostlin na zaplavení se liší mezi rostlinnými druhy i v rámci jednotlivých druhů a stejně tak i jejich schopnost zaplavení přežít. Zároveň se též liší schopnost jejich regenerace po ukončení zaplavení, a to jak v rámci jednoho druhu, tak i mezi nimi.

Cílem mé práce bylo sledovat vliv zaplavení a následné obnovy u inbredních rodičovských linií a jejich reciprokých kříženců *Zea mays* L. Tato práce by měla přispět k získání dalších informací týkajících se stresu způsobenému zaplavením s následnou obnovou u rostlin stejného a odlišného stáří.

2. Cíle a hypotézy práce

Cíle práce

- Zjistit, jestli jsou kříženci odolnější vůči stresu způsobenému zaplavením více než inbrední rodičovské linie a jaká je reakce jednotlivých genotypů po obnově optimálních podmínek pěstování.
- Zjistit, zda a jak se liší odpověď jednotlivých genotypů na stres způsobený zaplavením po obnově v závislosti na fázi vývoje, v níž jsou rostliny primárnímu stresu vystaveny.

Hypotézy práce

- Inbrední rodičovské linie jsou odolnější vůči stresu způsobenému zaplavením než reciprocí kříženci.
- Posthypoxie (obnova) může být pro rostliny větším stresem než zaplavení.
- Mladší rostliny jsou vůči stresu zaplavením citlivější než starší, ale lépe se vyrovnávají s následnou obnovou.

3. Literární přehled

Rostliny jsou díky přisedlému způsobu života vázány na jedno místo a v přirozeném prostředí je ovlivňuje celá řada biotických i abiotických stresorů. Tyto stresové faktory negativně ovlivňují jejich fyziologické funkce a v extrémních případech mohou způsobit až smrt celé rostliny. Jak již bylo řečeno v úvodu jedním z nejvýznamnějších abiotických stresů je právě zaplavení, se kterým se rostliny pravidelně setkávají a musí se mu dokázat přizpůsobit. Také se však musí vyrovnat i s návratem do optimálních podmínek pěstování.

V následující části této kapitoly se budu věnovat různým parametrům studovaných u rostlin během vystavení stresu zaplavením a následnému návratu do optimálních podmínek pěstování.

3.1. Výnosové a morfologické charakteristiky

Během zaplavení dochází k poškození elektron transportního řetězce, což způsobuje nedostatečné zásobení rostliny energií. Tuto situaci rostliny řeší mobilizací zásobních sacharidů, což však plně nekompenzuje energetické ztráty. Vlivem nedostatečného zásobení kyslíkem tedy postupně dochází k menšímu nárůstu hmotnosti kořenů a nadzemní části. Vlivem nedostatečného zásobení kyslíkem je utlumen růst kořenů a současně dochází k hromadění fytotoxinů, které inhibují formování nových kořenů a způsobují odumírání stávajících kořenů (Mielke *et al.*, 2003). Stav kořenového systému přímo ovlivňuje nadzemní části rostliny, kdy dochází ke snížení rychlosti růstu, celkové výšky a výnosu rostlin. Jako příklad lze uvést *Brassica napus* (Zhou *et al.*, 1995), která na stres zaplavením reagovala snížením počtu semen a počtu lusků, ale hmotnost semen zůstala neovlivněna, *Vigna radiata* (Islam *et al.* 2008), kde během zaplavení dochází ke snížení počtu lusků a hmotnosti semen, ale nedochází k ovlivnění jejich počtu v lusku, *Gossypium hirsutum* (Zhang *et al.*, 2015), kde během zaplavení došlo k snížení hmotnosti a hustoty vláken, nebo *Triticum aestivum* (Hayashi *et al.*, 2013), která reagovala na stres zaplavením snížením hmotnosti semen. Naopak u *Myricaria laxiflora* (Chen *et al.*, 2009), která se po celý život setkává se zaplavením, nedochází během povodní k poklesu hmotnosti kořenů. U *Phaseolus vulgaris* (Celik *et al.*, 2011) sledovali autoři odlišnou odpověď u suché hmotnosti listu, kdy u třech genotypů došlo k nárůstu hmotnosti a u dvou k poklesu oproti kontrolním rostlinám.

Zaplavení také ovlivňuje klíčení a následné přežívání semenáčků u *Triticum aestivum* (Ghobadi *et al.*, 2017), kdy během klíčení snižuje celkovou suchou hmotnost i rychlost růstu a zároveň v počátku klíčení vede k jeho zastavení. Zaplavení také vede ke snížení plochy listové čepele, což bylo pozorováno u *Brassica napus* (Zhou *et al.*, 1995), *Averrhoa carambola* (Ismail *et al.*, 1996), *Vicia faba* (Pociecha *et al.*, 2008), *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014) a některých dalších druhů. Zmenšení plochy listové čepele je primární odpověď na zaplavení, která souvisí s pomalou metabolickou aktivitou kořenového systému (Mielke *et al.*, 2003).

Odpověď rostlin na zaplavení se také liší v závislosti na vývojovém stádiu. Negativní vliv se více projevuje u mladých rostlin, které ho hůře snášejí, než u rostlin v generativním stádiu vývoje (Zhou *et al.*, 1995 u *Brassica napus*, Pervez *et al.*, 2004, Srinivasan *et al.*, 2004 u *Zea mays*, Pociecha *et al.*, 2008 u *Vicia faba*).

Rostliny se liší svou reakcí na zaplavení i v rámci druhu. Vyšší pokles hmotnosti kořenů i jejich nadzemní části byl zjištěn u citlivých genotypů oproti odolným. To bylo sledováno např. u *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008), *Trifolium* (Simova-Stoilova *et al.*, 2012), *Vigna radiata* (Islam *et al.*, 2008, Kumar *et al.*, 2013).

Po následné obnově optimálních podmínek pěstování dochází obvykle k opětovnému nárůstu hodnot sledovaných morfologických parametrů, které se však liší v rámci rostlinných druhů. Parametry dále závisí na podmínkách zaplavení a obnovy a jsou sledovány zejména po jednorázovém zaplavení. Obvykle však nedochází k plné obnově parametrů na hodnoty kontrolních rostlin pěstovaných po celou dobu v optimálních podmínkách. Neúplná obnova byla popsána např. u *Averrhoa carambola* (Ismail *et al.*, 1996), *Vicia faba* (Pociecha *et al.*, 2008), *Quercus castaneifolia* (Parad *et al.*, 2016). Jiná reakce byla popsána u rostlin, které se během života setkávají se zaplavením opakovaně. U nich dochází obvykle téměř k plné obnově (Jing *et al.*, 2009 u *Melaleuca alternifolia*, Chen *et al.*, 2009 u *Myricaria laxiflora*, Liu *et al.*, 2015 u *Distylium chinense*). Naopak u některých velmi citlivých druhů na stres způsobený zaplavením byl sledován jenom velmi malý nárůst hodnot po obnově optimálních podmínek (Verma *et al.*, 2014). Schopnost rostlin vzpamatovat se ze stresu navozeného zaplavením klesá s jeho délkou, proto rostliny potřebují na případnou obnovu delší časové období (Smethurst *et al.*, 2005).

Podobně jako v případě primárního stresu zaplavením závisí i během obnovy reakce studovaných rostlin na vývojové fázi, ve které se nachází. U rostlin ve vegetativním stádiu dochází

po obnově optimálních podmínek k rychlejšímu dorovnání výšky rostlin k rostlinám pěstovaným v optimálních podmínkách (Islam *et al.*, 2008). Odlišně reagují také odolné a citlivé genotypy v rámci druhu, kdy odolné vykazují lepší míru vzpamatování oproti citlivým, což můžeme sledovat např. u *Vigna radiata* L. Wilczek (Islam, et al., 2008), (Kumar et al., 2013) *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008).

3.2 Parametry vodního stavu rostlin

Zaplavení je stres způsobený nadbytkem vody, se kterým se musí vypořádat kořenový systém. Kvůli zaplavení kořenového systému dochází ke snížení hydraulické vodivosti xylému, což způsobuje, že nadzemní část rostliny má nedostatečné zásobení vodou a klesá relativní obsah vody v listech. Rostlina se paradoxně musí vyrovnávat s podmínkami, které navozuje stres suchem. Tuto situaci řeší snahou zabránit ztrátám vody. Dochází k uzavírání průduchů, což se projevuje snížením stomatální vodivosti a rychlosti transpirace, které velmi často patří mezi první odpovědi na zaplavení.

3.2.1 Relativní obsah vody

Během zaplavení byl popsán pokles relativního obsahu vody v listech (RWC) např. u dvou variant *Vigna radiata*, lišících se citlivostí k tomuto stresovému faktoru (Sairam *et al.*, 2009, Kumar *et al.*, 2013). U odolných genotypů dochází k menšímu poklesu hodnoty RWC oproti citlivým.

Po ukončení 8denní periody stresu zaplavením a následném pěstování rostlin v optimálních podmínkách byl zjištěn nárůst hodnot RWC, ale lišila se odpověď odolných a citlivých genotypů, kdy reakce u odolných genotypů byla rychlejší než u citlivých (Sairam *et al.*, 2009).

Relativní obsah vody je v souvislosti se zaplavením a případnou následnou obnovou zejména v posledních letech studovaný výjimečně.

3.2.2. Stomatální vodivost

Stomatální vodivost vyjadřuje vodivost průduchů, tedy jejich otevřenost, případně uzavřenost.

Zaplavení vede u většiny rostlinných druhů ke snížení stomatální vodivosti. Podobně jako v případě RWC však reakce rostlin závisí na době zaplavení, popř. dalších podmínkách, kterým jsou rostliny vystaveny (tab.1). U *Zea mays* (Yordanova *et al.*, 2007), vystavené pouze krátkodobému zaplavení, a *Hibiscus esculentus* (Ashraf *et al.*, 2005) nedocházelo k ovlivnění stomatální vodivosti.

Během zaplavení byla sledována, podobně jako v případě RWC, odlišná odpověď odolných a citlivých genotypů. U *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010), *Vigna radiata* (Kumar *et al.*, 2013) odolné genotypy vykazovaly nižší pokles stomatální vodivosti oproti citlivým. Odlišná odpověď byla sledována u citrusů (Arbona *et al.*, 2009), kdy z počátku zaplavení dochází k nárůstu stomatální vodivosti, ale s pokračující délkou nakonec dojde k poklesu hodnot. Podobný průběh byl pozorován i u *Sorghum bicolor* (Promkhambut *et al.*, 2010), kde se ale lišila odpověď jednoho krmného kultivaru, u kterého byla na konci zaplavení hodnota stomatální vodivosti vyšší než u rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách.

Po návratu do optimálních podmínek pěstování u většiny rostlinných druhů docházelo k opětovnému zvýšení stomatální vodivosti, v závislosti na délce obnovy a odolnosti či citlivosti vůči zaplavení, u některých druhů až na původní hodnoty před obdobím primárního stresu zaplavením (Ahmed *et al.*, 2002, Ahmed *et al.*, 2004, Nicolás *et al.*, 2005). Naopak u *Distylium chinense* (Liu *et al.*, 2015), *Quercus castaneifolia* (Parad *et al.*, 2016) z počátku obnovy zůstává stomatální vodivost snižená a s postupující obnovou dochází k nárůstu hodnot, a to buď mírně pod hodnoty kontrolních rostlin, nebo k plné obnově na hodnoty odpovídající kontrolním rostlinám. Naproti tomu např. *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012), *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014) se velmi obtížně ze zaplavení vzpamatovávají a během obnovy dochází jenom k mírnému nárůstu, který nedosahuje hodnot u kontrolních rostlin. Rovněž během periody obnovy se liší odpověď odolných a citlivých genotypů vůči zaplavení u *Vigna radiata* (Kumar *et al.*, 2013), kdy u odolných dochází k rychlejšímu nárůstu a obnově hodnot stomatální vodivosti oproti citlivým. Zajímavá odpověď byla sledována u *Melaleuca alternifolia* (Jing *et al.*, 2009), kdy z počátku obnovy dochází stále k poklesu hodnot stomatální vodivosti, který je po 20 dnech následován nárůstem až na hodnoty kontrolních rostlin.

3.2.3. Rychlost transpirace

Rychlost transpirace vyjadřuje rychlost úniku vody z rostliny. Spolu se stomatální vodivostí se jedná o často sledované parametry u rostlin vystavené stresu zaplavením.

Během zaplavení byl u většiny rostlinných druhů sledován (tab. 1) pokles rychlosti transpirace. Odlišně se chovala *Zea mays* (Yordanova *et al.*, 2007) během krátkodobého zaplavení (120 hodin), kdy k mírnému poklesu došlo na konci vystavení stresu a do té doby byl tento parametr zaplavením neovlivněn.

Při porovnání změn rychlosti transpirace u citlivých a odolných genotypů rostlin vůči stresu zaplavením bylo zjištěno, že u odolných genotypů dochází k menšímu poklesu rychlosti transpirace oproti citlivým. Tato odpověď byla pozorována u *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010).

Také během následné obnovy byla u různých druhů rostlin zjištěna odlišná reakce na obnovu standardních podmínek pěstování po předchozím zaplavením. Nejčastěji sledovanou odpovědí byl nárůst rychlosti transpirace (tab. 1), kdy u některých druhů docházelo až k plnému vzpamatování (Ahmed *et al.*, 2002, Ahmed *et al.*, 2004). Jinou reakci popsali Parad *et al.*, (2016) u *Quercus castaneifolia*. Z počátku obnovy zůstávala rychlost transpirace na stejné úrovni jako během vystavení stresu. Až po několika dnech docházelo k nárůstu hodnot. Naopak u *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012), *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014) nedošlo k obnově a rychlost transpirace zůstala na nízkých hodnotách, které byly navozeny zaplavením.

3.2.4. Efektivita využití vody

Efektivitu využití vody lze vyjadřovat pomocí dvou parametrů WUE a WUEi. Častěji je používán parametr WUE, který se vyjadřuje jako poměr mezi přijatým oxidem uhličitým a vydanou vodou. Méně používaným parametrem je vnitřní efektivita využití vody WUEi, která se vyjadřuje jako poměr mezi přijatým oxidem uhličitým a stomatální vodivostí.

Během zaplavení dochází velmi často k poklesu hodnot WUE. Tento pokles se u některých druhů může lišit svým průběhem. U *Vigna radiata* (Ahmed *et al.*, 2002, Ahmed *et al.*, 2006) byl popsán pokles hodnot u mladších i starších rostlin po vystavení stresu zaplavením. Naopak u *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012) nemá zaplavení žádný vliv na efektivitu využití vody, ale má vliv na vnitřní efektivitu využití vody.

Odpověď se liší u citlivých a odolných genotypů vůči zaplavení. U citlivých genotypů dochází k rychlejšímu poklesu, ale naopak u odolných genotypů nejprve nedochází ke změnám oproti kontrolním rostlinám. K poklesu dochází až s odstupem několika dní (Arbona *et al.*, 2009). Odlišná odpověď byla sledována u *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012). U WUEi dochází u odolného genotypu k nárůstu hodnot po 40 dnech vystavení stresu zaplavením. Naopak u citlivého genotypu dochází k poklesu hodnot.

Během následné obnovy byly u různých druhů rostlin zjištěny odlišné odpovědi. U citrusů (Arbona *et al.*, 2009) dochází u citlivého genotypu k pokračujícímu poklesu hodnot WUE po ukončení zaplavení, zatímco odolný genotyp udržuje hodnoty beze změny na úrovni, na kterou poklesly během zaplavení.

Byla popsána také odlišná reakce rostlin ve fázi obnovy v závislosti na jejich odlišné vývojové fázi. U *Vigna radiata* (Ahmed *et al.*, 2002, Ahmed *et al.*, 2006) byla sledována odlišná reakce juvenilních rostlin a rostlin v generativním stádiu vývoje. Rostliny v juvenilním stádiu vývoje vykazovaly pomalejší vzpamatování než rostliny v generativním stádiu, ale v obou případech po návratu do optimálních podmínek dochází k plnému vzpamatování.

3.3. Fotosyntetické parametry

Fotosyntetické procesy jsou podobně jako parametry vodní stavu výrazně ovlivněny zaplavením kořenového systému. Rostliny, aby předešly úbytku vody v důsledku ztráty hydraulické vodivosti xylému, uzavírají průduchy (Else *et al.*, 2001), čímž dochází k limitaci zdroje CO₂ pro fotosyntézu. Zároveň kromě ovlivnění dostupnosti CO₂ dochází k ovlivnění obsahu fotosyntetických pigmentů a primárních fotosyntetických procesů, které se sledují pomocí fluorescence chlorofylu *a*.

3.3.1 Rychlost fotosyntézy

Rychlost fotosyntézy je známa také pod starším označením jako rychlost asimilace oxidu uhličitého. Spolu s rychlostí transpirace a stomatální vodivostí se jedná o často sledované parametry u rostlin vystavené stresu zaplavením.

Zaplavení má na rychlost fotosyntézy nesporný vliv (tab. 1). Nejčastěji dochází v důsledku tohoto stresového faktoru k poklesu rychlosti fotosyntézy, který se u některých druhů liší svým průběhem, rychlostí a intenzitou. Byly však popsány i zcela opačné reakce, Ziegler *et al.*, (2017) zjistili u *Prunus cerasifera*, že během krátkodobého zaplavení po dobu 6 dní nedochází k ovlivnění rychlosti fotosyntézy. Odlišné výsledky zjistili i Promkhambut *et al.*, (2010) u krmného kultivaru *Sorghum bicolor*, u něhož došlo na konci zaplavení ke zvýšení rychlosti transpirace nad hodnoty kontrolních rostlin.

Během zaplavení se také liší odpověď odolných a citlivých genotypů. U citrusů (Arbona *et al.*, 2009) dochází u citlivých genotypů k poklesu, ale odolný genotyp zaplavení neovlivňuje.

Nejčastější reakcí na zaplavení u odolných genotypů je menší pokles hodnot oproti citlivým, což bylo publikováno u *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008) *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010), *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012), *Vigna radiata* L. Wilczek (Kumar *et al.*, 2013).

Rychlost fotosyntézy se mění odlišně u různě starých rostlin, které jsou vystaveny stresu zaplavením. U *Brassica napus* (Zhou *et al.*, 1995), *Vicia faba* L. minor (Pociecha *et al.*, 2008), *Vigna radiata* L. Wilczek (Islam *et al.*, 2008) docházelo k největšímu poklesu u rostlin v juvenilním stádiu oproti starším rostlinám.

Po ukončení stresu zaplavením nejčastěji dochází k opětovnému nárůstu rychlosti fotosyntézy. Tento nárůst se u některých rostlinných druhů liší rychlostí či průběhem (tab. 1). Byly však publikovány i odlišné výsledky např. Liu *et al.*, (2015) zjistili u *Distylium chinense*, že první týden obnovy po zaplavení pokračuje pokles, který je poté následován nárůstem, kdy na konci obnovy dochází k plnému zotavení. Odlišná odpověď byla sledována u *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014), kdy dochází během obnovy k velmi malému nárůstu hodnot a rostliny se na konci obnovy ze zaplavení nevzchopí. Velmi pomalý nárůst byl sledován i u *Prunus armeniaca* (Nicolás *et al.*, 2005), kde ale po 50 dnech obnovy došlo k téměř úplnému dorovnání rostlin, které rostly v optimálních podmínkách.

Během obnovy se též liší odpověď citlivých a odolných genotypů, kdy u odolných genotypů dochází k rychlejšímu nárůstu oproti citlivým u *Vigna radiata* L. Wilczek (Kumar *et al.*, 2013). Naopak u *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008) u citlivého genotypu dochází k poklesu rychlosti fotosyntézy během následné obnovy, odolný naopak vykazuje nárůst hodnot.

3.3.2. Obsah fotosyntetických pigmentů

3.3.2.1. Obsah chlorofylu

Rostliny reagují na zaplavení často poklesem koncentrace chlorofylů. Tento pokles se však u různých druhů liší rychlostí či způsobem, jak k němu dochází. U *Brassica napus* (Zhou *et al.*, 1995), *Medicago sativa* (Smethurst *et al.*, 2003), *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008), *Melaleuca alternifolia* (Jing *et al.*, 2009), *Vicia faba* (Balakhnina *et al.*, 2010), *Phaseolus vulgaris* (Celik *et al.*, 2011), *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012), *Gossypium hirsutum* (Zhang *et al.*, 2015), *Populus euphratica* (Yu *et al.*, 2015), *Triticum aestivum* (Ghobadi *et al.*, 2017), *Zea mays* (Liu *et al.*, 1996, Bennicelli *et al.*, 1998, Yordanova *et al.*, 2007) dochází během zaplavení k pozvolnému a plynulému poklesu obsahu chlorofylů. Naopak u *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010) dochází z počátku zaplavení k nárůstu obsahu chlorofylů,

který je s pokračujícím zaplavením následován poklesem pod hodnoty kontrolních rostlin, které nebyly vystaveny stresu zaplavením. U některých druhů rostlin zaplavení nemá žádný vliv na obsah chlorofylů. Jako příklad lze uvést *Distylium chinense* (Liu *et al.*, 2015).

Reakce rostlin závisí na tom, zda se jedná primárně o citlivý nebo odolný genotyp. U genotypů *Zea mays* (Zaidi *et al.*, 2003) *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008), *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010), *Trifolium* (Simova-stoilova *et al.*, 2012), *Vigna radiata* (Sairam *et al.*, 2009, Kumar *et al.*, 2013), které se vyznačují odolností vůči zaplavení, byl sledován nižší pokles obsahu chlorofylů oproti citlivým genotypům.

Rozdílné chování bylo sledováno i s ohledem na stáří rostlin v jakém byly vystaveny stresu zaplavením. U mladších rostlin dochází k výraznému poklesu obsahu chlorofylů ve srovnání se staršími rostlinami (Zhou *et al.*, 1995, Pocięcha *et al.*, 2008). Také stáří listů představuje významný faktor s ohledem na změny vyvolané zaplavením. Starší listy jsou více ovlivněny a byl u nich sledován vyšší pokles obsahu chlorofylů (Liu *et al.*, 1996).

Po návratu do optimálních podmínek pěstování vykazují rostliny podobnou odpověď jako na předchozí zaplavení. U většiny rostlinných druhů dochází k postupnému nárůstu obsahu chlorofylů (tab. 1), u některých druhů až na úroveň hodnot kontrolních rostlin (Pang *et al.*, 2004 u některých genotypů *Horduea vulgare*, Jing *et al.*, 2009 u *Melaleuca alternifolia*). Naproti tomu u *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014) a odolných genotypů *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008) dochází z počátku obnovy k pokračujícímu poklesu obsahu chlorofylů, který je následován mírným nárůstem, ale k plné obnově nedochází. U citlivého genotypu *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008) nebyl během obnovy pozorován nárůst v pozdějších fázích jako u odolného genotypu a obsah chlorofylů po celou dobu obnovy klesal.

3.3.2.2. Obsah karotenoidů

Během zaplavení současně s obsahem chlorofylů je obvykle studován také obsah karotenoidů, které plní významnou úlohu v ochraně rostlin (Edge *et al.*, 1997, Gruszecki *et al.*, 2005, Ramel *et al.*, 2012). Nejčastěji můžeme sledovat několik odpovědí. U *Mentha pulegium* (Candan *et al.*, 2012), *Gossypium hirsutum* (Zhang *et al.*, 2015), dochází během zaplavení k nárůstu koncentrace karotenoidů. Naopak u *Zea mays* (Bennicelli *et al.*, 1998), *Vicia faba* (Balakhnina *et al.*, 2010), *Populus deltoides* (Du *et al.*, 2012), *Trifolium* (Simova-stoilova *et al.*, 2012), *Vigna radiata* (Kumar *et al.*, 2013) byla sledována opačná odpověď, kdy během zaplavení dochází k poklesu koncentrace karotenoidů.

Změny v obsahu karotenoidů závisí stejně jako změny v obsahu chlorofylů, na citlivosti nebo odolnosti studovaných genotypů vůči tomuto studovanému faktoru. U *Trifolium* (Simova-stoilova *et al.*, 2012), *Vigna radiata* (Kumar *et al.*, 2013) dochází u citlivého genotypu k většímu poklesu koncentrace oproti odolnému.

Změny obsahu karotenoidů po následné periodě obnovy byly studovány pouze ojediněle, např. u *Vicia faba* (Balakhnina *et al.*, 2010), kdy byl pozorován pokračující pokles koncentrace, nebo u *Populus deltoides* (Du *et al.*, 2012), kdy bylo pozorováno částečné vzpamatování.

3.3.3. Fluorescence chlorofylu *a*

Velmi často studovanými parametry jsou parametry fluorescence chlorofylu, které slouží jako velmi dobrý ukazatel stavu fotosystému II (Ahmed *et al.*, 2002).

Mezi nejčastěji studované patří minimální fluorescence v listech adaptovaných na tmu (F_0), maximální fluorescence v listech adaptovaných na tmu (F_m), maximální kvantový výtěžek fotosystému II (F_v/F_m) mezi méně sledované parametry patří koeficient nefotochemického zhášení (NPQ), koeficient fotochemického zhášení (q_p), kvantový výtěžek disipace zachycení energie (F_0/F_m) a některé další.

U maximální fluorescence v listech adaptovaných na tmu dochází po zaplavení podobně jako u F_v/F_m k poklesu hodnot (tab. 1). Během zaplavení se liší odpověď odolných a citlivých genotypů. U citrusů (Arbona *et al.*, 2009), *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012) dochází k poklesu hodnot u citlivých genotypů, ale odolný genotyp není zaplavením ovlivněn.

Naopak u minimální fluorescence v listech adaptovaných na tmu dochází během zaplavení k nárůstu hodnot (tab. 1). Opačně chování bylo sledováno u *Hordeum vulgare* (Pang *et al.*, 2004), *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008), kdy byl sledován k pokles hodnot. Podobně jako u většiny parametrů byl i zde sledován rozdíl mezi odolnými a citlivými genotypy. U *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012) dochází u citlivých genotypů k nárůstu hodnot jako u většiny rostlinných druhů, ale u odolného genotypu nedochází vlivem zaplavení k žádným změnám.

Zaplavení vedlo ke snížení maximálního kvantového výtěžku fotosystému u většiny studovaných rostlinných druhů (tab. 1). Zároveň se liší odpověď odolných a citlivých genotypů, kdy u odolných genotypů je sledován menší pokles oproti citlivým (Arbona *et al.*, 2009). U odolného genotypu *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008), *Theobroma cacao* (Bertolde *et al.*, 2012) zaplavení nemá vliv na hodnoty tohoto parametru oproti citlivému genotypu, u něhož dochází

k výraznému poklesu hodnot. Naopak u *Genipa americana* (Mielke *et al.*, 2003), *Melaleuca alternifolia* (Jing *et al.*, 2009) nedochází během zaplavení k ovlivnění hodnot a ty zůstávají na stejné úrovni jako hodnoty u kontrolních rostlin. Zároveň odlišně reagují různě staré rostliny. Ve své práci Pocięcha *et al.* (2008) u *Vicia faba* sledovali rozdílnou odpověď tohoto parametru v závislosti na vývojové fázi rostlin, ve které byly vystaveny zaplavení. Nejsilněji byly ovlivněny mladší rostliny, u kterých byl sledován prudký pokles hodnot tohoto parametru.

Během zaplavení dochází nejčastěji k nárůstu koeficientu nefotochemického zhášení (tab. 1). U *Distylium chinense* (Liu *et al.*, 2015) byla sledována opačná odpověď, kdy dochází k poklesu hodnot. Zároveň se liší odpověď odolných a citlivých genotypů. Např. u citrusů (Arbona *et al.*, 2009) dochází k nárůstu hodnot u citlivých genotypů naopak odolný genotyp není zaplavením ovlivněn.

Zaplavení též ovlivňuje koeficient fotochemického zhášení. U citrusů (Arbona *et al.*, 2009) dochází z počátku zaplavení k nárůstu hodnot u všech sledovaných genotypů, po kterém dochází k poklesu u dvou kultivarů na hodnoty rostlin, které rostly v optimálních podmínkách a u jednoho genotypu byl sledován následný pokles pod hodnoty kontrolních rostlin. U *Melaleuca alternifolia* (Jing *et al.*, 2009), *Distylium chinense* (Liu *et al.*, 2015), *Populus euphratica* (Yu *et al.*, 2015) dochází během vystavení stresu zaplavením k postupnému poklesu hodnot pod hodnoty rostlin, které rostly v optimálních podmínkách. U *Genipa americana* (Mielke *et al.*, 2003) nemá zaplavení vliv na koeficient fotochemického zhášení.

Po návratu do optimálních podmínek pěstování dochází k postupnému nárůstu hodnot F_v/F_m , které se u některých sledovaných rostlinných druhů vyrovnaly hodnotám rostlin, které rostly po celou dobu pozorování v optimálních podmínkách a docházelo tedy k plnému zotavení. Podobné výsledky byly zjištěny i pro parametry q_p a F_m . Naopak u parametrů F_0 a NPQ byl zjištěn po návratu do optimálních podmínek pěstování pokles hodnot, který se u některých sledovaných druhů vyrovnal hodnotám kontrolních rostlin. U *Hordeum vulgare* (Pang *et al.*, 2004) byla sledována odlišná odpověď během zaplavení a po návratu do optimálních podmínek u parametru F_0 . Během vystavení stresu zaplavením docházelo k poklesu hodnot. Oproti tomu během fáze obnovy byl sledován nárůst hodnot F_0 . U *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014) dochází během obnovy jenom u k malému nárůstu hodnot F_v/F_m . U *Oryza sativa* (Panda *et al.*, 2008), u níž byly sledovány parametry F_v/F_m u dvou genotypů lišících se citlivostí k zaplavení, byl zjištěn u citlivého genotypu během prvních dní obnovy pokračující pokles hodnot F_v/F_m , který je poté následován jejich nárůstem. U odolného genotypu, který nebyl zaplavením ovlivněn, dochází 11. den obnovy k poklesu hodnot. Podobně

jako u F_v/F_m bylo sledováno i odlišné chování u citlivého a odolného genotypu u parametrů F_0 a F_m . U odolného genotypu dochází k nárůstu hodnot, ale u citlivého genotypu dochází k pokračujícímu poklesu.

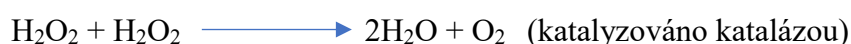
Po návratu rostlin do optimálních podmínek byly popsány rozdíly v hodnotách F_v/F_m rovněž v závislosti na vývojové fázi pokusných rostlin. U starších rostlin *Vicia faba* (Pociecha *et al.*, 2008) po ukončení zaplavení je sledován v prvních dnech obnovy pokračující pokles hodnot, po kterém následuje jejich nárůst. Naopak u mladších rostlin dochází k téměř okamžitému nárůstu.

3.4. Antioxidanty

Během zaplavení dochází k nárůstu hladiny reaktivních kyslíkových druhů, a to především superoxidů O_2^- , singletového kyslíku 1O_2 , peroxidu vodíku (H_2O_2), hydroxylového radikálu (OH^\cdot) a hladiny fenolů. Tyto reaktivní kyslíkové druhy poškozují buněčné struktury. S narůstající hladinou těchto forem kyslíku se musí rostliny umět vyrovnat. K tomu využívají antioxidantní systémy, které tyto reaktivní druhy odbourávají. Tyto systémy rozdělujeme na enzymatické, mezi které patří peroxidáza, kataláza, superoxid dismutáza, askorbát peroxidáza a neenzymatické mezi které patří askorbát, glutathion a prolin (Blokhina *et al.*, 2003). Antioxidantní mechanismy spolu pracují v rovnováze. Jakákoliv nerovnováha v těchto ochranných systémech rostlin vede k vyšší tvorbě ROS, tedy k oxidačnímu poškození lipidů a bílkovin (Simova-Stoilova *et al.*, 2012).

3.4.1. Kataláza

Kataláza se řadí mezi metaloenzymy, které mají v aktivním centru ionty železa. Kataláza je u vyšších rostlin lokalizována v peroxizomech (Yan *et al.*, 1996), kde odbourává peroxid vodíku na vodu a kyslík. Zneškodňuje peroxid vznikající v dýchacím řetězci, a to během betaoxidace a fotorespirační oxidace. Odbourávání peroxidu vodíku probíhá podle následující rovnice.



U rostlin bylo popsáno během zaplavení několik odpovědí, pokud jde o aktivitu katalázy. Velmi častou odpovědí je nárůst aktivity tohoto enzymu, např. u *Hordeum vulgare* (Yordanova *et al.*, 2004), *Zea mays* (Bin *et al.*, 2010), *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014). U některých rostlinných druhů byl počáteční rychlý nárůst aktivity v prvních dnech zaplavení následován poklesem hodnot - u *Vigna radiata* (Ahmed *et al.*, 2002), citruselo (Hossain *et al.*, 2009), *Chrysanthemum* (Yin *et al.*, 2009), *Zea mays* (Jamei *et al.*, 2009, Bin *et al.*, 2010), *Dendranthema zawadskii* (Yin *et al.*, 2010), *Sesbania virgata* (Zanandrea *et al.*, 2013). Tento pokles byl v některých případech až pod hodnoty kontrolních rostlin (Ahmed *et al.*, 2002, Yin *et al.*, 2009, Jamei *et al.*, 2009, Zanandrea *et al.*, 2013). Výjimečný však není ani pokles aktivity katalázy po zaplavení, který byl zjištěn u *Brassica napus* (Zhou *et al.*, 1995), *Triticum aestivum* (Tan *et al.*, 2008), *Trifolium* (Simova-stoilova *et al.*, 2012). U *Lycopersicon* (Lin *et al.*, 2004) nemělo krátkodobé zaplavení žádný vliv na aktivitu tohoto enzymu. Simova-stoilova *et al.*, (2012) ve své práci sledovali, že u starších listů jetele dochází k nárůstu aktivity katalázy. Po 3 týdnech zaplavení byl však patrný mírný pokles aktivity tohoto enzymu.

Změna aktivity katalázy se liší u citlivých a odolných genotypů. U citlivých genotypů byl sledován menší nárůst aktivity katalázy (Bansal *et al.*, 2012, Chung *et al.*, 2012). Naopak u citlivého genotypu *Chrysanthemum* (Yin *et al.*, 2009) došlo po prvotním nárůstu aktivity k poklesu pod hodnoty kontrolních rostlin, ale u odolného genotypu byl sledován po poklesu aktivity její opětovný nárůst.

Po návratu do optimálních podmínek je sledováno několik odpovědí tohoto enzymu, které závisí na jeho aktivitě během primárního stresu zaplavením. U některých druhů rostlin, u nichž nedocházelo k poklesu aktivity během zaplavení, dochází nejprve k mírnému zvýšení aktivity tohoto enzymu, které je následováno poklesem, který na konci obnovy dosáhl téměř hodnot kontrolních rostlin (Hossain *et al.*, 2009). U jiných druhů rostlin dochází jenom k postupnému poklesu aktivity, např. u *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014). Naopak u jiných rostlin, kde byl sledován pokles aktivity během zaplavení dochází k postupnému nárůstu aktivity (Ahmed *et al.*, 2002 u *Vigna radiata*). Podobně jako kataláza se během stresu zaplavením chovají i glutation peroxidázy (Hurng *et al.*, 1994).

3.4.2. Superoxid dismutáza

Superoxid dismutázy řadíme mezi metaloenzymy (Bennicelli *et al.*, 1998), obsahují nejčastěji atomy manganu, železa nebo mědi a zinku. SOD jsou hlavní enzymy uplatňující se v odbourávání superoxidu (Ghobadi *et al.*, 2017), který odbourávají z rostlinných buněk

v buněčné cytoplazmě, chloroplastech a mitochondriích (Bowler, 1992). Superoxid přeměňují na peroxid vodíku a kyslík. Superoxid dismutáza je obvykle považována za první linii obrany proti oxidativnímu stresu (Bansal *et al.*, 2012). Odbourávání superoxidového radikálu probíhá podle následujících rovnic.



M^{2+} a M^+ jsou zkratky použité pro kovové ionty v aktivním místě enzymu, které se účastní reakce

Během vystavení rostlin stresu zaplavením bylo sledováno několik odlišných odpovědí aktivity tohoto enzymu. Aktivita se lišila v závislosti na délce zaplavení a zároveň také na rostlinném druhu, který byl vystaven zaplavení. Nejčastěji se vyskytovalo několik odpovědí. U dlouhodobého zaplavení (30 dní) byl sledován pokles aktivity např. u *Brassica napus* (Zhou *et al.*, 1995). Pokles byl sledován u i krátkodobého zaplavení u *Hordeum vulgare* (Yordanova *et al.*, 2004). Další sledovanou odpovědí byl nárůst aktivity tohoto enzymu v prvních dnech zaplavení s následným poklesem, který byl buď pod hodnoty kontrolních rostlin, nebo se udržel nad hodnotami aktivity kontrolních rostlin *Zea mays* (Liu *et al.*, 1996, Bennicelli *et al.*, 1998), *Vigna radiata* L. Wilczek (Ahmed *et al.*, 2002), citranelo (Hossain *et al.*, 2009), *Vicia faba major* (Balakhnina *et al.*, 2010). Poslední sledovanou odpovědí byl nárůst aktivity u *Chrysanthemum* (Yin *et al.*, 2009), *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010), *cajanus cajan* (Bansal *et al.*, 2012), *Sesbania virgata* (Zanandrea *et al.*, 2013) a rovněž u *Zea mays* (Chugh *et al.*, 2012) v důsledku krátkodobého (pouze několik hodin) zaplavení. Naopak u *Lycopersicon pimpinellifolium* (Lin *et al.*, 2004) během krátkodobého zaplavení nedošlo k ovlivnění aktivity SOD.

Yordanova *et al.*, (2004) zjistili u ječmene rozdíl poklesu cytosolické a chloroplastové SOD, kdy v lumen chloroplastů dochází až k 50% poklesu oproti kontrolním rostlinám. Autoři předpokládají, že tento rozdíl je zapříčiněn poklesem aktivity Fe-SOD v chloroplastech.

Na stres zaplavením reagují odlišně odolné a citlivé genotypy. U odolných genotypů je sledována vyšší aktivita SOD oproti citlivým genotypům u *Chrysanthemum* (Yin *et al.*, 2009), *Zea mays* (Bin *et al.*, 2010). Autoři předpokládají, že zvýšená aktivita tohoto antioxidantu

odbourává větší množství super oxidových radikálů a umožňuje rostlině se lépe vyrovnat se zaplavením.

Při vystavení stresu zaplavením se též liší odpověď nadzemní části a kořenů. Balakhnina *et al.*, (2012) sledovali aktivitu SOD u *Brassica napus*. V kořenovém systému docházelo ke zvýšení aktivity do 3. dne zaplavení, poté následoval výrazný pokles aktivity. Naopak v listech první 3 dny zaplavení byl sledován nárůst aktivity, následně nedocházelo k poklesu aktivity, ale ta zůstala na stejné úrovni do ukončení zaplavení. Naopak u *Zea mays* (Bin *et al.*, 2010) docházelo během zaplavení k poklesu aktivity v kořenech, ale v listech naopak docházelo ke zvýšení aktivity během celého zaplavení. Rozdílná odpověď na zaplavení byla také sledována u různě starých rostlin, kdy nejmladší rostliny byly nejvíce náchylné a byl u nich sledován větší pokles aktivity oproti starším rostlinám u *Brassica napus* (Zhou *et al.*, 1995)

Po návratu do optimálních podmínek bylo sledováno několik odpovědí aktivity tohoto enzymu, především v závislosti na aktivitě během primárního stresu zaplavením. U rostlin, u nichž během zaplavení docházelo k nárůstu aktivity, byl během následné obnovy sledován pokles aktivity na úroveň kontrolních rostlin (citrumelo Hossain *et al.*, 2009). Naopak u *Vicia faba major* (Balakhnina *et al.*, 2010) během prvních dní obnovy docházelo k nárůstu aktivity s následným poklesem na hodnoty odpovídající hodnotám kontrolních rostlin. U rostlin, u nichž byl sledován pokles aktivity během zaplavení docházelo po obnově k nárůstu, který na konci dosahoval hodnot kontrolních rostlin u *Vigna radiata* L. Wilczek (Ahmed *et al.*, 2002).

3.4.3. Askorbát peroxidáza

Askorbát peroxidáza je enzym, který se podílí na odbourávání peroxidu vodíku na vodu převážně v chloroplastech, mitochondriích a peroxizomech (Salin 1987, Quan *et al.*, 2008). Při tomto procesu dochází zároveň k regeneraci NADP^+ , proto tento enzym hraje důležitou roli v hypoxických podmínkách. Jako donor elektronů může být využit askorbát (Asada, 1992). V chloroplastech se Askorbát peroxidáza podílí na odbourávání peroxidu vodíku systémem ASA-GSH-NADPH, který katalyzuje právě askorbát peroxidáza a glutathion reduktáza (Salin 1987) a to podle následujících rovnic.





Stres zaplavení má vliv na aktivitu askorbát peroxidázy, kde stejně jako v případě katalázy a SOD bylo sledováno několik typů odpovědí na zaplavení. Velmi často byl pozorován během prvních dnů zaplavení rychlý nárůst aktivity tohoto enzymu, který je s pokračujícím zaplavením následován poklesem, který může spadnout až pod hodnoty kontrolních rostlin. Tato odpověď byla sledována u *Vigna radiata* (Ahmed *et al.*, 2002), *Zea mays* (Jamei *et al.*, 2009), *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010), *Brassica napus* (Balakhnina *et al.*, 2012). Další častou odpovědí byl nárůst aktivity tohoto enzymu, který nastal ihned po zaplavení, nebo až po několika dnech, což bylo popsáno např. u *Hordeum vulgare* (Yordanova *et al.*, 2004), citruse (Hossain *et al.*, 2009), *Zea mays* (Bin *et al.*, 2010), *Cajanus cajan* (Bansal *et al.*, 2012), *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014).

Askorbát peroxidáza spolu s katalázou jsou pravděpodobně více aktivovány při delším zaplavení, tedy mohou hrát důležitou roli v dlouho trvajícím zaplavení (Bansal *et al.*, 2012).

Během zaplavení se též liší odpověď odolných a citlivých genotypů vůči tomuto stresovému faktoru. U odolných genotypů byla sledována vyšší aktivita tohoto enzymu oproti citlivým u *Dendranthema* (Yin *et al.*, 2010) *Zea mays* (Bin *et al.*, 2010). Rovněž u *Chrysanthemum* (Yin *et al.*, 2009) dochází u odolného genotypu k nárůstu aktivity po dobu zaplavení, zatímco u citlivého po prvotním nárůstu aktivity dochází k následnému poklesu.

Po návratu do optimálních podmínek pěstování bylo sledováno, stejně jako v případě SOD několik odpovědí, které se lišily v závislosti na tom, jaká byla aktivita během zaplavení. U rostlin, kde zaplavení vedlo ke zvýšení aktivity AXP dochází během následné obnovy k poklesu, který se může vyrovnat až hodnotám kontrolních rostlin. Tato odpověď byla sledována u *Jatropha curcas* (Verma *et al.*, 2014). Naopak u rostlin, kde došlo během zaplavení k poklesu aktivity, dochází během obnovy k jejímu nárůstu, který může dosáhnout až hodnot kontrolních rostlin. Tato odpověď byla sledována u *Vigna radiata* (Ahmed *et al.*, 2002).

Zaplavení vede též ke změně aktivity peroxidáz. Ve většině případů dochází ke zvýšení aktivity těchto enzymů. Bertolde *et al.*, (2012) sledovali u rostlin kakaovníku pokles aktivity tohoto enzymu u odolného genotypu, který odvozují od zapojení fermentace, která vede ke snížení aktivity mitochondrií a tím i produkce peroxidů a superoxidů.

3.4.4. Kyselina askorbová

Kyselina askorbová je nízkomolekulární antioxidant, který se v rostlinných pletivech vyskytuje v nízkých ($\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$) koncentracích, ale naopak v chloroplastech a cytosolu se nachází ve vyšších koncentracích (Ghobadi *et al.*, 2017). Spolu s redukováným glutathionem se jedná o hlavní komplexy neenzymatické obrany proti oxidativnímu stresu (Simova-stoilova *et al.*, 2012).

Během vystavení zaplavení bylo sledováno, stejně jako u ostatních antioxidantů několik odpovědí. Nejčastější odpovědí bylo zvýšení koncentrace askorbátu, což bylo sledováno u *Zea mays* (Liu *et al.*, 1996), *Lycopersicon pimpinellifolium* (Lin *et al.*, 2004), citranelo (Hossain *et al.*, 2009), *Trifolium* (Simova-stoilova *et al.*, 2012), *Sesbania virgata* (Zanandrea *et al.*, 2013). U *Zea mays* (Jamei *et al.*, 2009) probíhá změna koncentrace askorbové kyseliny ve dvou po sobě následujících fázích. Po dvou dnech zaplavení dochází k poklesu koncentrace kyseliny askorbové a v následujících dnech zaplavení hodnoty rostly a převýšily hodnoty rostlin, které rostly v optimálních podmínkách.

Po návratu rostlin do optimálních podmínek bylo sledováno několik odpovědí, které se lišily v závislosti na změnách koncentrace během zaplavení. Velmi častou odpovědí byl postupný pokles koncentrace askorbové kyseliny, který dosahoval hodnot kontrolních rostlin (tab. 1). Naopak u citranelo (Hossain *et al.*, 2009) docházelo během následné obnovy k pokračujícímu nárůstu koncentrace, ačkoliv i zaplavení už vedlo k jejímu nárůstu.

3.4.5. Prolin

Prolin je nepolární proteinogenní aminokyselina. Patří mezi neenzymatické složky antioxidačního systému a účastní se detoxifikace volných kyslíkových radikálů, které jsou generovány během stresu zaplavením. Změny obsahu prolinu jsou v souvislosti se zaplavením studovány spíše ojediněle. Oproti tomu je prolin velmi intenzivně studován v souvislosti s vystavením rostlin různým stresovým faktorům, a to především sucha.

Během zaplavení byl např. u *Zea mays* (Zaidi *et al.*, 2003, Yordanova *et al.*, 2007) zjištěn mírný nárůst koncentrace prolinu. U *Brassica napus* (Balakhnina *et al.*, 2012) dochází ke zvýšení koncentrace prolinu během prvních dní zaplavení. Po třetím dni byl sledován pokles, který dosáhl hodnot rostlin, které rostly v optimálních podmínkách.

3.5. Poškození buněk

Zaplavení kořenového systému způsobuje vyšší produkci kyslíkových radikálů a fenolů, které způsobují poškození buněčných membrán, proteinů, DNA, pigmentů, a to může vést k nevratnému poškození organel a buněk. Mezi nejběžnější reaktivní formy kyslíku vyskytující se při zaplavení patří peroxid vodíku a superoxid, které způsobují největší poškození, a dále singletový kyslík a hydroxylový radikál.

3.5.1. Peroxid vodíku

Peroxid vodíku je hlavní reaktivní forma kyslíku, k jejíž tvorbě dochází během hypoxie způsobené zaplavením. Mezi nejdůležitější regulační antioxidační enzymy hladiny peroxidu vodíku řadíme katalázu, askorbát peroxidázu a superoxid dismutázu. Jeho odbourávání se účastní kataláza, peroxidázy a důležitou roli hraje i askorbát-glutathionový cyklus (Chugh *et al.*, 2011). V rostlinných buňkách dochází k jeho vzniku činností SOD, která přeměňuje superoxidový radikál na peroxid vodíku. Zvýšená hladina peroxidu je nebezpečná, protože má v přítomnosti slabšího redukčního činidla silné oxidační vlastnosti a může oxidovat thiolové skupiny, což může vést k inhibici např. fotosyntézy.

Peroxid vodíku má vysokou stabilitu a dlouhý poločas rozpadu (Quan *et al.*, 2008), může volně difundovat do vakuol, kde je redukován pomocí vakuolárních peroxidáz (Biocenter, 2003). Někteří autoři zjistili, že zvýšení obsahu peroxidu vodíku je následováno zvýšením aktivity katalázy a superoxid dismutázy. (Bansal *et al.*, 2012, Simova-stoilova *et al.*, 2012)

Kromě toho, že je peroxid vodíku reaktivní kyslíková forma, vyskytuje se v buňce v malém množství v optimálních podmínkách. Předpokládá se, že má též významnou funkci v ROS signalizaci, protože má schopnost procházet membránou jako nezměněná molekula (Bansal *et al.*, 2012). Zároveň se předpokládá, že může regulovat expresi některých buněčných genů (Quan *et al.*, 2008). V neposlední řadě pomáhá rostlinám rozvíjet a posilovat odolnost vůči enviromentálním stresům (Quan *et al.*, 2008), působí jako signalizační molekula a druhý posel (Bhattacharjee, 2005). Jeho koncentrace se v rostlinách mění v závislosti na jejich stáří, kdy čím je daný list starší, tím má vyšší koncentraci peroxidu vodíku. Může hrát tedy i roli v senescenci. (Quan *et al.*, 2008)

Během zaplavení se koncentrace peroxidu vodíku zvyšuje. U některých druhů, jako je např. *Cajanus cajan* (Bansal *et al.*, 2012), *Zea mays* L. (Chugh *et al.*, 2012), dochází k okamžitému nárůstu koncentrace, u jiných druhů je tento nárůst pozvolný, nebo k němu

dochází až po několika dnech zaplavení (*Yan et al.*, 1996 u *Zea mays* L., *Hossain et al.*, 2009 u citrusů). Práce některých autorů *Yordanova et al.*, 2007, *Zanandrea et al.*, 2013 ukazují, že k výraznému nárůstu koncentrace peroxidu vodíku dochází v prvních dnech zaplavení. Následně sice dochází k poklesu koncentrace, ale hodnoty stále zůstávají vyšší oproti kontrolním rostlinám.

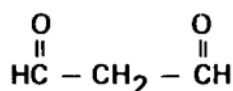
Pokud byla studována odpověď odolných a citlivých genotypů rostlin vůči stresu zaplavením, byla opakovaně zjištěna odlišná reakce. U odolných genotypů *Cajanus cajan* (*Bansal et al.*, 2012) a *Trifolium repens* L. (*Simova-stoilova et al.*, 2012) dochází pouze k mírnému nárůstu koncentrace peroxidu vodíku, u *Zea mays* L. zůstává koncentrace peroxidu vodíku zhruba na stejné úrovni jako u kontrolních rostlin (*Chugh et al.*, 2012). Nicméně u dalších studovaných odolných genotypů *Zea mays* L. (*Chugh et al.*, 2011) byl sledován pokles koncentrace peroxidu vodíku oproti kontrolním rostlinám, kdy se podobným způsobem choval i jeden citlivý genotyp.

Podobně, jako se liší odolné a citlivé genotypy, se také odlišuje koncentrace peroxidu vodíku i v závislosti na stáří listů, kdy u starších listů *Zea mays* L. byla zjištěna vyšší koncentrace peroxidu vodíku oproti mladším listům (*Yan et al.*, 1996).

Pokud byla v návaznosti na stres zaplavením sledována i perioda obnovy, byl pozorovaný pokles koncentrace peroxidu vodíku (*Hossain et al.*, 2009). Stejně jako v případě poškození membrán jsou však práce týkající se studia změn vybraných parametrů během periody obnovy v literatuře pouze ojedinělé.

3.5.2. Malondialdehyd

Malondialdehyd (MDA) je těkavá nízkomolekulární středně slabá kyselina (*Janero*, 1990). Též je znám pod systematickým názvem jako 1,3-propanal. Vzniká působením kyslíkových radikálů, které navozují peroxidaci lipidických membrán a následně vznik volných mastných kyselin (*Bhattacharjee*, 2005). MDA vzniká peroxidací polynenasycených mastných kyselin (*Tsikas*, 2017). Množství vznikajícího MDA během peroxidace membránových lipidů slouží jako charakteristika míry oxidativního poškození (*Bansal et al.*, 2012). S jeho rostoucí koncentrací zároveň roste poškození buněčných membrán.



Během zaplavení dochází k peroxidaci buněčných membrán, která se projevuje nárůstem koncentrace MDA a thiobarbituové kyseliny. Nejvyšší nárůst koncentrace MDA byl popsán v kořeni *Zea mays* (Bin *et al.*, 2010), *Brassica napus* (Balakhnina *et al.*, 2012), kde po zaplavení dochází k největší tvorbě kyslíkových radikálů. V menší míře byl zjištěn nárůst jeho hladiny i v listech. U *Phaseolus vulgaris* však byly publikovány odlišné výsledky, kdy během zaplavení nedošlo k nárůstu hladiny MDA v kořenech (Celik *et al.*, 2011).

Zároveň se liší i míra nárůstu koncentrace MDA vzhledem ke stáří listu, kdy u starších listů byl popsán větší nárůst MDA např. u *Brassica napus* L. (Zhou *et al.*, 1995). Autoři sledovali současně i změny koncentrace MDA nejen v závislosti na stáří listu pokusných rostlin, ale také v závislosti na stáří rostliny, která byla stresu zaplavením vystavena. Nejvyšší nárůst hodnot byl zjištěn u *Brassica napus* L. (Zhou *et al.*, 1995) v juvenilním stádiu vývoje.

Podobně jako u peroxidu vodíku se odlišuje i odpověď odolných a citlivých genotypů vystavených stresu zaplavením. U citlivých genotypů dochází např. u *Triticum aestivum* (Tan *et al.*, 2008), *Chrysanthemum* (Yin *et al.*, 2009), *Dendrathera* (Yin *et al.*, 2010), *Zea mays* L. (Bin *et al.*, 2010), *Cajanus cajan* (Bansal *et al.*, 2012), *Trifolium* (Simova-stoilova *et al.*, 2012) k rychlejšímu a většímu nárůstu koncentrace peroxidu vodíku oproti odolným genotypům.

Po návratu rostlin do optimálních podmínek dochází podobně jako u peroxidu vodíku k postupnému poklesu koncentrace, která se dle délky obnovy může vyrovnat hodnotám kontrolních rostlin. U různých druhů rostlin však může být reakce na obnovu odlišná. Např. u *Vicia faba major* byl sice pozorován pokles hodnot, ten však nedosáhl hodnot kontrolních rostlin a hodnoty se pohybovaly mezi hodnotami kontrolních rostlin a stresovaných (Balakhnina *et al.*, 2010). Podobně jako u většiny parametrů poškození buněk se během obnovy jedná o málo studovaný parametr.

3.5.3. Poškození membrán

Poškození membrán je často vyjadřováno jako únik elektrolytu vlivem poškození buněčných membrán nebo jako index stability membrán. Se stoupajícím poškozením membrán roste i množství uvolněného elektrolytu, který způsobuje zvýšenou konduktivitu pletiva, která se měří pomocí měrné elektrické vodivosti. Společně s MDA tyto parametry udávají míru stresu, kterým byly rostliny vystaveny a poskytují základní pohled na stav rostlinné buňky.

Během zaplavení dochází u rostlin k silnému poškození buněčných membrán, které se projevuje zvýšeným množstvím uniklého elektrolytu nebo snížením indexu stability

membrán. Toto poškození (Verma *et al.*, 2014, Zhang *et al.*, 2015) koreluje se zvýšeným obsahem hladiny peroxidu vodíku a MDA. Zároveň se ukazuje, že poškození buněčných membrán souvisí i s obsahem chlorofylu a rychlostí fotosyntézy, kdy zvýšené poškození buněčných membrán nejspíše snižuje obsah chlorofylu i rychlost fotosyntézy.

K nejrozsáhlejšímu poškození buněčných membrán během zaplavení dochází v kořenovém systému. Poškození buněčných membrán je způsobeno především peroxidací nenasycených mastných kyselin ve fosfolipidové membráně (Halliwell *et al.*, 1983).

Během následné obnovy dochází např. u *Vigna radiata* (Sairam *et al.*, 2009) k postupnému dorovnání hodnot kontrolních rostlin. Tyto parametry jsou však podobně jako parametry WUE, RWC a obsah karotenoidů během obnovy studovány spíše výjimečně.

Tabulka 1: Přehled výsledků studií popisující vybrané parametry rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách, v podmínkách zaplavení a obnovy. Práce jsou řazeny abecedně podle rostlinných druhů (seznam zkratk je uveden na konci tabulky).

Rostlinný druh	Podmínky pěstování	Zaplavení snižuje/ zvyšuje aktivitu/množství	Obnova snižuje/ zvyšuje aktivitu/množství	Citace
<i>Averrhoa carambola</i> L.	Teplota max/min 35/23 °C, relativní vzdušná vlhkost 64,2 %, plastové květináče 17 l, směs zeminy, kuřecího trusu a písku (3:2:1), skleník 7 měsíců staré rostliny, zaplavení 25 dní, hladina vody 6 cm nad úrovní substrátu, obnova 10 dní	↑: ψ (do 5 dne), g_s ↓: PL, DWL, DWS, DWR ↓: ψ (po 5 dni), P_N	↑: P_N , ↑: PL, DWL, DWS, DWR ↓: g_s	(Ismail <i>et al.</i> , 1996)
<i>Brassica napus</i> L.	Betonové kontejnery (400x100x120cm) pokryty platovou fólií, 50 rostlin na kontejner, pórovitá zemina pohnojena v poměru 200 kg N/ha, 60 kg P_2O_5 /ha a 10 kg K_2O /ha Zaplaveny v juvenilním stádiu, nasazování květů, kvetení a tvorbě lusku, zaplavení 30 dní, hladina vody v úrovni substrátu	↑: Ethylen, MDA ↓: SOD, CAT Chl, P_N , ↓: PL, VR, ŠS, PLR, PS	Není uvedeno	(Zhou <i>et al.</i> , 1995)
<i>Brassica napus</i> var. <i>Oleifera</i> f. <i>annua</i> cv. Lisonne	Fotoperioda 12 h, teplota den/noc 20/16 °C, relativní vzdušná vlhkost den/noc 70/45 %, do stáří 4 týdny růst na poli poté přesazení do květináčů 25x35cm a 25cm výšky, 7 dní aklimatizace, růstová komora, polní zemina Zaplaveny po aklimatizaci 8 dní, hladina vody 1,5-2 cm nad úrovní substrátu	Listy ↑: TBARS, SOD, AXP, prolin (do 3. dne pak pokles) Neovlivňuje GR Kořeny ↑: ADH, TBARS, SOD (do 3 dne), GR ↓: SOD (od 3. dne)	Není uvedeno	(Balakhnina <i>et al.</i> , 2012)

<i>Cajanus cajan</i> (citlivý a odolný genotyp)	Plastové květináče, průměr 9,5 cm, 750 g písčité zeminy, přihnojeno Hoagland ob den Zaplaveny 20 dní od zasazení po dobu 6 dní, hladina vody 4-5 cm nad úrovní substrátu	↑:H ₂ O ₂ , TBARS ↑:POX, PPO, CAT(po 3 dni odolný po 5 dni citlivý), SOD (po 3 dni odolný 4 den citlivý), APX (po 3 dni odolný, po 4 citlivý)	Není uvedeno	(Bansal <i>et al.</i> , 2012)
citrumelo CPB 4475 (<i>Citrus paradisi</i> L. Macf.× <i>Poncirus trifoliata</i> L. Raf.)	Fotoperioda 16 h, relativní vzdušná vlhkost 60-95 %, průměrná teplota den/noc 25/18 °C, plastové nádoby 2,5 l, směs rašeliny, perlitu a vermikulitu (80:10:10), 2 měsíce aklimatizace ve skleníku Ve stáří 1 roku byly rostliny vystaveny zaplavení 12, 17 a 22 dní s následnou 6denní obnovou a jedna skupina vystavena 28dennímu zaplavení. Hladina vody 2 cm nad úrovní substrátu	↑: SOD, CAT, Ci/Ca, AXP, AsA, GSH ↓: PN, DHAR Po 17 dni ↑: SOD, CAT, DHA, GR, GSH ↓: MDHAR Po 23 dni ↑: H ₂ O ₂ , MDA, MDHAR, GR, GSSG ↓: SOD, CAT	↑: PN, MDA, AsA, GR ↓: SOD, CAT, DHAR Po 17 dni ↑: MDA, DHA, GSSG ↓: H ₂ O ₂ Po 23 dni ↑: H ₂ O ₂	(Hossain <i>et al.</i> , 2009)
Citrumelo CPB 4475 (Cit, Citrus paradisi L. Macf. × Poncirus trifoliata L. Raf) Carrizo citrange (CC, Citrus sinensis L. Osb. × P. trifoliata L. Raf.) Cleopatra mandarin (CM, Citrus resnyi Hort. ex Tan.)	Přirozená fotoperioda, teplota den noc 25/18 °C, plastové květináče 2,5 l, směs sterilní rašeliny, perlitu a vermikulitu (80:10:10), 3krát týdně zálivka 0,5 l přihnojeno Hoagland, aklimatizace 2 měsíce ve skleníku Zaplavení 33 dní a zaplavení 7 dní s následnou 7denní obnovou, hladina vody 2 cm nad úrovní substrátu	↑: Poš, Ci/Ca (CM, Cit) ↑: F ₀ , NPQ (Cit, CM) ↓: Chl (Cit, CM), ↓:PN, (Cit, MC), g _s , WUE ↓:F _v /F _m , Φ _{PSII} , F _m (CM, Cit), q _p (CM) Neovlivňuje P _N , (CC), Ci/Ca (CC),	↑: P _N (CC, Cit), g _s (Cit) ↓: P _N (CM), WUE (Cit, CM), g _s (Cit) Neovlivňuje WUE (CC), g _s (CC)	(Arbona <i>et al.</i> , 2009)

<i>Chrysanthemum</i> sp (odolný a citlivý genotyp)	Fotoperioda 12 h, teplota 25 °C, relativní vzdušná vlhkost 70 %, květináče, zahradní zemina vermikulit (2:1), skleník Vývojové stádium 8 až 10 listů, zaplavení 8 a 20 dní, hladina vody 2,5 cm nad úrovní substrátu	Kořeny ↑: ADH, PDC, LDH Listy ↑: SOD, CAT, AXP, MDA (citlivý), Ethylen ↓: AXP, CAT (6 dni pod hodnoty kontrolních rostliny citlivý), Ethylen (po 4 a 6 dni)	Není uvedeno	(Yin <i>et al.</i> , 2009)
<i>Dendranthema nankingense</i> (citlivý) <i>Dendranthema zawadskii</i> (odolný)	fotoperioda 12 h, relativní vzdušná vlhkost 70 %, průměrná teplota vzduchu 25 °C, květináče, směs zahradní zeminy a vermikulitu 2:1, pěstováno ve skleníku Zaplavení 2, 4, 6, 8 a 20 dní, hladina vody 10 až 20 mm nad úroveň substrátu, pH 7,3 a teplota 25 °C, boxy pro zaplavení o velikosti 28x14x14 cm (u kontrolních rostlin vlhkost půdy 60 %).	↑: ADH, LDH (odolný), PDC ↑: SOD APX (odolný), CAT (odolný) MDA (citlivý) ↑: C _i (citlivý) ↓: P _n , G _s , A, C _i (odolný), P _n (odolný), Chl Po 6 dnech ↓: MDA (citlivý)	Není uvedeno	(Yin <i>et al.</i> , 2010)
<i>Distylium chinense</i>	2 roky staré rostliny, 60 dní aklimatizace, plastové květináče 22/17 cm (průměr/hloubka), naplněné 3,5 kg místní písčité zeminy, rostliny stíněny fotonová hustota 10 mol m ⁻² s ⁻¹ Zaplavení 150 dní s následnou 60denní obnovou, hloubka body 20 cm	↓: DWL, DWR, DWN, DWP, DWR/DWN, ↓: rozpustné cukry, škrob ↓: P _N , g _s , Fv/Fm, qP, NPQ, qp ETR, Neovlivňuje Chl	↑: DWL, DWR, DWN, DWP, DWR/DWN ↑: rozpustné cukry, škrob ↑: P _N , g _s , Fv/Fm, NPQ, qp, ETR Neovlivňuje Chl	(Liu <i>et al.</i> , 2015)

<i>Genipa americana</i> L.	<p>Relativní vlhkost vzduchu 80 %, průměrná teplota 28 °C, plastové sáčky obsahující 2,5 kg směsi organické zeminy a písku 1:1</p> <p>Zaplavení 63 dní, hladina vody 20-10 mm nad úrovní substrátu</p>	<p>↑: qN, spHm, ↓: g_s, P_N, A ↓: výška, počet listů, plocha listu, DWK, DWS, DWP Neovlivňuje R_d, qP, Fv/F₀, Fv/F_m, WUE</p>	Není uvedeno	(Mielke <i>et al.</i> , 2003)
<i>Gossypium hirsutum</i> L. (genotyp K638)	<p>Bezedný bazén o velikosti 4x3 metry oddělený 13 cm tlustými betonovými zdilkami, do hloubky 1,5 m, rostliny v řádcích o vzdálenosti 26 cm od sebe, automaticky kontrolovaný přístřešek proti dešti.</p> <p>Rostliny zaplaveny ve fázi plného květu po dobu 10 dní, hladina vody 20 cm nad úroveň substrátu</p>	<p>↑: MDA, H₂O₂, Kar ↓: P_N, A, g_s ↓: plocha listu, suchá hmotnost listů, kořenů a stonků, výnos, vrchol kvetení, NO ↓: Chla, Chlb, Chl,</p>	Není uvedeno	(Zhang <i>et al.</i> , 2015)
<i>Hordeum vulgare</i> L.	<p>Fotoperioda 12 h, teplota den/noc 24/20 °C, relativní vzdušná vlhkost 60 %, substrát Eutric Fluvisolu pH 5,75, růstová komora</p> <p>14 dní od zasetí, zaplavení 72, 96 a 120 hodin, hladina vody 25 mm nad úrovní substrátu.</p>	<p>↑: POD, CAT, APX, H₂O₂ ↓: SOD, GR</p>	Není uvedeno	(Yordanova <i>et al.</i> , 2004)
<i>Hordeum vulgare</i> L.	<p>Fotoperioda 12 h, relativní vzdušná vlhkost 60 %, teplota 24 °C, zemina Eutric Fluvisolu pH 5,75, růstová komora,</p> <p>14 dní od zasetí, zaplaveny 2, 6, 12 a 24 hodin. hladina vody 25 mm nad úrovní substrátu, měření 5. a 6. listové patro.</p>	<p>↓: P_N, g_s</p>	Není uvedeno	(Yordanova, <i>et al.</i> , 2005)

<p><i>Hordeum vulgare</i> L. (6 genotypů)</p>	<p>Fotoperioda 16 h, plastové květináče 2vl, 12/20 cm (průměr/výška), skleník s otevřenými bočními stěnami</p> <p>Experiment I teplota den/noc 13/10 °C srpen 19/14 °C listopad, substrát směs písku, zeminy a ovčího hnoje (2:1:1)</p> <p>Experiment II teplota de/noc 21/14 °C prosinec až 18/13 °C březen, zemina pocházejí z míst a častými záplavami v Tasmanii</p> <p>Ve staří 25 dní (vyvinut plně 3. list a 4. ve vývoji) zaplaveny 3 týdny, hladina vody v úrovni substrátu, 2 týdny obnova</p>	<p>Exp. I ↓: DWR, DWN (4 genotypy), odnožování, Chl</p> <p>Neovlivňuje DWR, DWS (2 genotypy), P_N, g_s, Ci, F₀, F_m, Fv/F_m</p> <p>Exp II ↓: DWR, DWN ↓: Chl, P_N, g_s, Ci, F₀, F_m, Fv/F_m</p>	<p>Exp I ↑: DWR (5 genotypů), DWN ↑: Chl, F₀, F_m, Fv/F_m</p> <p>Exp II ↑: DWR (5 genotypů), DWN ↑: Chl, P_N, g_s, Ci, F₀, F_m, Fv/F_m</p>	<p>(Pang et al., 2004)</p>
<p><i>Jatropha curcas</i></p>	<p>Teplota min/max 7/40 °C, vlhkost vzduchu min/max 55/70 %, hliněné květináče 30/40 cm (průměr/hloubka), volné prostranství</p> <p>Zaplavení po dobu 4 týdnů, 28 dní obnova, hladina vody 5 cm nad úrovní substrátu</p>	<p>↑: IMP, APX, GPX, Cat, GR ↓: výška, průměr stonku, délka kořene, počet listů, PL, spHm, DWK, DWS, DWL, DWP ↓: P_N, A, g_s, ↓: F_v/F_m, F_v/F₀, SPAD, Chl</p>	<p>↑: výška, průměr stonku, délka kořene, počet listů, PL, spHm, DWK, DWS, DWL, DWP ↑: P_N, A, g_s, ↑: F_v/F_m (lehce), F_v/F₀, SPAD, Chl, ↓: IPM, APX, GPX, CAT, GR</p>	<p>(Verma et al., 2014)</p>
<p><i>Lycopersicon pimpinellifolium</i> Mill (2 genotypy) <i>Solanum melongena</i> (2 genotypy)</p>	<p>Fotoperioda 14 h, teplota den/noc 33/29 °C, hliněné květináče o průměru 5 palců, substrát směs rašeliny, jílové půdy a písku (2:1:1), skleník, záливka 2krát denně, 1 týdně hnojeno</p> <p>Zaplavení 3, 6, 12, 24, 48 a 72 hodin, hladina vody 5 cm nad úrovní substrátu</p>	<p>↑: AXP, redukovaný a celkový ASA, GSH, celkový glutathion, Neovlivňuje CAT, SOD, GR, GSSG</p>	<p>Není uvedeno</p>	<p>(Lin et al., 2004)</p>

<i>Melaleuca alternifolia</i>	<p>Teplota 19-37 °C, vlhkost vzduchu 31-96 %, kbelík 60/40 cm (výška/šířka), 15 kg lesní zeminy, přihnojeno jednou za 14 dní 1/2 ředěným Hoagland's, venkovní experiment</p> <p>Jednoleté rostliny 30 dní aklimatizovány, zaplaveny 180 dní s následnou 60denní obnovou, hladina vody 20 cm nad úrovní substrátu.</p>	<p>↑: NPQ</p> <p>↓: biomasa, výška,</p> <p>↓: P_N, g_s, A, Chla, Chlb, Chl, qp</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>F_v/F_m</p>	<p>Během následné obnovy dochází postupně k vyrovnání parametrů na hodnoty podobné kontrolním rostlinám</p>	(Jing <i>et al.</i> , 2009)
<i>Myricaria laxiflora</i>	<p>Plastové květináče 25,5/17 cm (výška/šířka), říční písčité substrát, venkovní experiment</p> <p>1 a 2leté rostliny, hladina vody v úrovni substrátu, částečně ponořené a úplně ponořené rostliny, po dobu 1 a dvou měsíců, obnova 3 měsíce</p>	<p>↓: délka primárních větví, hmotnost nadzemní částí, celková hmotnost</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>Hmotnost kořenů</p>	<p>↑: délka primárních větví, hmotnost nadzemní částí, celková hmotnost</p>	(Chen <i>et al.</i> , 2009)
<p><i>Oryza sativa L.</i></p> <p>RF 13A, kalaputia (odolný)</p> <p>IR 42 (citlivý)</p>	<p>Teplota max/min 34,6/26,3 °C, hliněné květináče 2 kg farmářského substrátu (směs písku, jílu a hlíny) a chlévské mrvy v poměru 3:1 doplněné o 80 mg močoviny, 192 mg super fosfátu a 70 mg oxidu draselného.</p> <p>Úplné zaplavení ve stáří 21 dní po dobu 8 dní, betonové nádrže o rozměru 3 x 3 x 1,3 m, hladina vody 50 cm nad úrovní rostlin, obnova 15 dní</p>	<p>↓: obsah škrobu (citlivý), suchá hmotnost kořenů (citlivý), suchá hmotnost nadzemní části</p> <p>↓: F₀, F_m, F_v/F_m (náchylný), Chl, aktivita Rubisco, P_N,</p> <p>Neovlivňuje:</p> <p>F_v/F_m (odolný)</p>	<p>↑: F₀ (odolný), F_m (do 9. dne) (odolný), F_v/F_m (citlivý po 1. dni), aktivita rubiska (do 3. dnů odolný), P_N (do 7. dne)</p> <p>↓: suchá hmotnost,</p> <p>↓: F₀ (Náchylný), F_m (náchylný) (11. den odolný), F_v/F_m (náchylný) (11. dnech odolný),</p> <p>↓: Chl (náchylný), aktivita Rubisco (náchylný, odolný po 3. dnech), P_N (citlivý) (odolný po 7. dni)</p>	(Panda <i>et al.</i> , 2008)

<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (různé genotypy)	Teplota den/noc 26/18 °C, relativní vzdušná vlhkost 70 %, plata 31,5/55,5 cm, substrát rašelina, perlit a vermikulit (2:1:1), růstová komora Rostliny 2 týdny staré, 3 dny zaplavení, hladina vody v úrovni substrátu	↑: IPM ↓: DWR, plocha listu, ↓: Chl, MDA (listy) Neovlivňuje DWL, Celkové cukry, RWC, MDA (kořeny)	Není uvedeno	(Celik <i>et al.</i> , 2011)
<i>Populus euphratica</i>	Teplota max/min 37/21 °C, květináče 120/30 cm (výška/průměr), substrát směs písku, naplaveniny a jílu (20:75:5), venkovní experiment 2 roky staré rostliny, zaplavení 50 dní, hladina vody 10 cm nad úrovní substrátu,	↑: DWL, ψ_{md} , rozpustné cukry, MDA ↓: výška, délka kořenů, DW, DWR ↓: P_N , g_s , E, Ci, Fv/Fm, q_p , ϕ_{PSII} , Chl, Chla, Chlb	Není uvedeno	(Yu <i>et al.</i> , 2015)
Monegro hybrid, (<i>P. persica</i> (L.) Batsch × <i>P. dulcis</i> [Mill.] D. A. Webb) <i>P. cerasifera</i> Ehrh <i>P. persica</i> (L.)	Květináče 40 l, substrát směs perlitu (30%), rašeliny (35%) a hroznové výlisky (35%), jednu týdně hnojeno NPK 15-10-15 během růstové periody Hladina vody 50 mm nad úrovní substrátu, 6denní zaplavení	↓: P_N (persica, Monegro), g_s (persica, Monegro), ψ_w (persica, Monegro), délka a šířka listu (persica, Monegro), Neovlivňuje Ci	Není uvedeno	(Ziegler <i>et al.</i> , 2017)
<i>Prunus armeniaca</i> L	Plastové květináče 35 l, substrát směs jílovité zeminy, rašeliny a vermikulitu v poměru 2:1:1, zavlažování jednou denně s hnojivem ($19.8 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ KNO}_3$, $17.4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ NH}_4\text{PO}_4\text{H}_2$, $1.5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Fe}$ and $1.5 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Zn}$), skleník 2 roky staré rostliny, zaplavení 50 hodin, hladina vody 4 cm nad úrovní substrátu, 17denní obnova	↓: sap flow (maximální i minimální hodnoty), ψ_{md} , ψ_p , ↓: g_s , P_n ,	Během obnovy dochází u všech parametrů ke zvýšení hodnot na úroveň kontrolních rostlin	(Nicolás <i>et al.</i> , 2005)

<i>Quercus castaneifolia</i>	Plastové květináče 7 l, substrát jílovitá zemina, písek a rašelina (5:1:1), venkovní podmínky 2 roky staré rostliny, zaplavení 60 dní, 42denní obnova, hladina vody 5 cm nad úrovní substrátu, zaplavení po dobu 102 dní	↑: Poměr hmotnosti nadzemní části a kořenů ↓: PN, E, g _s , ↓: výška, průměr stonku, délka kořenů, plocha listu, DWL, DWS, DWK, DWP	↑: PN, E, g _s , ↑: výška, průměr stonku, délka kořenů, plocha listu, DWL, DWS, DWK, DWP	(Parad <i>et al.</i> , 2016)
<i>Sesbania virgata</i>	Plastové pytle 1 l, substrát zemina, písek a hnůj (1:1:1), polní podmínky Zaplavení po dobu 56 dní, hladina vody 1 cm nad úroveň substrátu a plně zatopené	↑: H ₂ O ₂ , MDA ↑: ASA, DHA, SOD (od 21 dne), SOD, CAT, DHAR, GR	Není uvedeno	(Zanandrea <i>et al.</i> , 2013)
<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench (konzumní a krmné kultivary)	Fotoperioda 14 h, teplota max/min 26/13 °C, květináče 15 cm průměr, substrát 450 g rašeliny, písku, NPK (6:2:1) (NPK 7,5 % dusíku, 3,6 % fosforu, 5,2 % peroxidu draselného) Na květináč 3 až 5 semen ve vývojovém stádiu 2 listů jedenocení, zaplavení ve stádiu 5 listů 20dnů	↑: počet odumřelých listů, poměr nadzemní části/kořeny ↓: výška rostlin, rychlost růstu listu, plocha listu, nodulace kořenů, délku kořenů, DWL, DWK ↓: PN, g _s	Není uvedeno	(Promkhambut <i>et al.</i> , 2010)
<i>Theobroma cacao</i> L. (citlivý a odolný genotyp)	Teplota max/min 28/21 °C, relativní vlhkost vzduchu 95-73 %, plastové květináče 25 l, substrát směs rašeliny a borové kůry s drceným kokosovým vláknem 1:1, přihnojeno Oxisol, skleník, aklimatizace 6 měsíců Zaplavení po dobu 40 dní, hladina vody 20 mm nad úrovní substrátu	↑: C _i /C _a , WUE _i (odolný), F ₀ (citlivý), POD (citlivý) ↓: PN, g _s , A, WUE _i (citlivý) ↓: F _m (citlivý), F _v /F _m (citlivý), Chl a Chla (citlivý), POD (odolný) Neovlivňuje R _D , α, Γ _{PAR} , WUE	Není uvedeno	(Bertolde <i>et al.</i> , 2012)

<p><i>Trifolium repens</i>. L (odolný)</p> <p><i>Trifolium pratense</i> L. (náchylný)</p>	<p>Fotoperioda 12 h, teplota den/noc 24/18°C Květináče 15/7,5 cm (hloubka/šířka), 20 semen na květináč, zemina o pH 5,5 – 6,5 a elektrické vodivosti 1,5 mScm⁻¹, růstová komora, zálivka na 70 % půdní kapacity</p> <p>Rostliny byly vystaveny zaplavení 21 dní od výsevu po dobu 14 a 21 dní, hladina vody 2 cm nad úrovní substrátu</p>	<p>↑: H2O2, MDA (náchylný), MDA (do 14 dne odolný),</p> <p>↑: POX, ASA</p> <p>↓: růst, DWR, FWK</p> <p>↓: Chla, Chlb, KAR, CAT</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>Chla/b, Chla+b/KAR</p>	Není uvedeno	(Simova-stoilova <i>et al.</i> , 2012)
<i>Triticum aestivum</i>	<p>Pěstební nádoby 10 l, přesátý polní substrát (36 % písek, 28 % bahno, 36 % jíl), každý květináč přihnojen 0,7 g N, 0,8 g P₂O₅, 0,8 g K₂O a 8 g Ca(OH)₂ a 2x pohnojeno 5 g (NH₄)₂SO₄, polní podmínky</p> <p>Zaplavení 8 dní, 7 a 35 dní obnova, hladina vody 0-20 mm nad úrovní substrátu</p>	Není uvedeno	<p>↑: emise CO₂</p> <p>↓: DWR, DWS, poměr nadzemní části/ kořeny, velikost zrna, počet zrn na klas</p>	(Araki <i>et al.</i> , 2012)
<i>Triticum aestivum</i> L.	<p>Experiment I: Rostliny vystaveny zaplavení v periodě 1-4, 4-8, 8-12, 12-16 dní od začátku klíčení. Semena byla sterilizována v bělidle 2 minuty. Pěstovány na papírových utěrkách</p> <p>Experiment II: Květináče 60/15 cm (výška/průměr), jemný říční písek a zeminy (směs písku, naplaveniny a jílu) v poměru 1:4, pH 7,3. ponořeny po dobu 12 hodin</p> <p>Experiment III: Zaplavení po dobu 15 dní</p>	<p>↓: DWR, DWN, plocha listu, odnožování, délka sekundárních kořenů, klíčivost, výnos</p> <p>↓: Chl</p>	Není uvedeno	(Ghobadi <i>et al.</i> , 2017)

<i>Typha domingensis</i>	<p>Květináče 30/40 cm (šířka/hloubka), rostliny přesazeny ze svého prostředí, substrát rašelina z místa odběru rostlin.</p> <p>Hladina vody 30 cm nad úrovní substrátu během aklimatizace. Zaplavení po dobu 6 týdnů 3 úrovně hladiny (40, 91 a 137 cm) vody, 4 týdny obnova</p>	<p>↑: LCP (137 cm), R_D (137 cm), LCP</p> <p>↓: DWL (137 cm) DWR, DWP, poměr DWR/DWL</p> <p>↓: Chl (137 cm), P_N, F_v/F_m</p> <p>Neovlivňuje:</p> <p>P_{max}</p>	<p>↑: počet kořenů, Chl, R_D</p> <p>↑: DWL (91 cm), DWP, poměr DWR/DWL</p> <p>↓: F_v/F_m (137 cm), R_D (po 3 týdnech),</p> <p>↓: DWR</p>	(Chen <i>et al.</i> , 2010)
<i>Vicia faba L.minor</i>	<p>Fotoperioda 12 h, teplota den/noc 23/17 °C, květináče 5 l, substrát rašelina, hnědozem a písek (2:2.1), hnojeno jednou týdně Hoagland, skleník</p> <p>Stáří 4 a 8 týdnů, zaplavení 7 dní, obnova 7 dní, hladina vody po okraj květináčů</p>	<p>↑: poškození listů</p> <p>↓: růst, výška, plocha listů, počet listů, DW</p> <p>↓: Chla (mladší), Chlb (mladší), P_N, g_s, F_w/F_m,</p>	<p>↑: P_N, g_s, F_w/F_m</p> <p>↑: poškození listů (mladší)</p> <p>↓: RuBPC,</p>	(Pociecha <i>et al.</i> , 2008)
<i>Vicia faba major</i>	<p>Fotoperioda 12 h, teplota den/noc 23/12 °C, relativní vzdušná vlhkost den/noc 45/70 %, plastové květináče 5,9 l, substrát hněda sprašová zemina pH 7,3, celková pórovitost 48 %, zaplavení destilovanou vodou (pH 7,1), růstová komora</p> <p>Klíčení na vlhkém filtračním papíře, 5 sazenic zasazeno 30 mm hluboko, 10 dní od zasazení zaplavení 13 a 27 dní, obnova 14 dní, hladina vody 1 cm nad úrovní substrátu</p>	<p>14denní zaplavení</p> <p>↑: TBAR, SOD</p> <p>↓: ODR, Eh, GR, Chl(a+b), KAR, DWN, SOD (po 16 dni)</p> <p>27denní zaplavení</p> <p>↓: TBAR, SOD, GR, Pig, Chl(a+b), Kar</p>	<p>↑: ODR. Eh (do úrovně kontrolních rostlin)</p> <p>↑: SOD, GR. Chl (a+b), DWN</p> <p>↓: TBAR, KAR</p>	(Balakhnina <i>et al.</i> , 2010)
<i>Vigna radiata</i> (odolný a citlivý genotyp k zaplavení)	<p>Hliníkové nádoby 30/30 cm (výška/šířka), zemina a zvířecí hnůj (3:1), přidána kultura Rhizobium</p> <p>25 dní od zasazení zaplaveny 2, 4, 6 a 8 dní, obnova 4 dny, hladina vody 1-2 cm pod úrovní substrátu, v plastové nádrže (100x70x35cm),</p>	<p>↑: Chla/b, redukující cukry, ADH</p> <p>↓: RWC, IPM, Chl, neredukující cukry</p>	<p>↑: RWC, IPM, Chl, neredukující cukry, redukující cukry</p> <p>↓: Chla/b, ADH</p>	(Sairam <i>et al.</i> , 2009)

<p><i>Vigna radiata</i> L. <i>Wilczek</i></p> <p>(citlivý a odolné genotypy)</p>	<p>Teplota 26-31,1 °C, květináče obsahující 12 kg substrátu, substrát sypká hnědozem s příměsí jílu a kravský hnůj (4:1), přihnojeno 0,264 g močoviny, 0,6 g superfosfátu, 0,52 g chloridu draselného</p> <p>18, 27 a 48 dní od zasetí, zaplaveny 1, 3 a 7 dní, obnova 12 dní, hladina vody 2,5 nad úrovní substrátu</p>	<p>↑: Ci, výška rostliny (odolné genotypy, 18 dní)</p> <p>↓: P_N, g_s,</p> <p>↓: výška rostliny, hmotnost semen, počet lusků</p> <p>Neovlivňuje:</p> <p>Výnos (1 den)</p>	<p>↑: P_N, g_s</p> <p>↓: Ci (odolný)</p>	<p>(Islam <i>et al.</i>, 2008)</p>
<p><i>Vigna radiata</i> L. <i>Wilczek</i></p> <p>(citlivé a odolné genotypy)</p>	<p>Hliněné květináče 30/30 cm (výška/průměr), substrát jílovitá zemina a hnůj (4:1), přihnojeno 0,264g močoviny, 0,600g super fosfátu a 0,520 chloridu draselného na 12 kg zeminy.</p> <p>30 dní od zasetí, zaplaveny 3, 6 a 9 dní, obnova 3, 6 a 9 dní, hladina vody na úrovni zeminy</p>	<p>↑: formování adventivních kořenů (odolný), Kar/Chl (odolný)</p> <p>↓: růst, plocha listu, kvetení, počet lusků, DW</p> <p>↓: RWC, IPM</p> <p>↓: Chl, Kar, KAR/Chl (citlivý),</p> <p>↓: P_N, g_s, E,</p>	<p>↑: P_N, g_s, E</p>	<p>(Kumar <i>et al.</i>, 2013)</p>
<p><i>Vigna radiata</i> L. <i>Wilczek</i></p>	<p>Teplota max/min 34/29 °C, vzdušná vlhkost 72 %, klíčení na vermikulitu, ve stáří 6 dní přesazeny do hliněných květináčů 18/23 cm (hloubka/šířka), substrát sterilizovaný písek, hnojeno “Enshi” a “Arnon” 3krát týdně, skleník</p> <p>Juvenilní a generativní stádium, zaplaveny 8 dní s následnou obnovou, hladina vody 2 cm nad úrovní substrátu</p>	<p>↑: SOD (do 3 dne), CAT (do 3 dne), AXP (do 6 hodin)</p> <p>↓: P_N, E, WUE, g_s, F_v/F_m</p> <p>↓: SOD, CAT, AXP, GR</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>Ψ_w</p>	<p>↑: P_N, E, WUE, g_s, F_v/F_m,</p> <p>↑: SOD, CAT, AXP, GR</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>Ψ_w</p>	<p>(Ahmed <i>et al.</i>, 2002)</p>

<i>Vigna radiata</i> L. Wilczek	<p>Teplota max/min 32/24 °C, vzdušná vlhkost 72 %, klíčení na vermikulitu, ve stáří 6 dní přesazeny do hliněných květináčů 18/23 cm (hloubka/šířka), substrát sterilizovaný písek, hnojeno “Enshi” a “Arnon” 3krát týdně, skleník</p> <p>Juvenilní a generativní stádium, zaplaveny 8 dní s následnou obnovou, hladina vody 2 cm nad úrovní substrátu</p>	<p>↑: ABA, ACC</p> <p>↓: P_N, A, g_s, WUE</p> <p>↓: F_v/F_m</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>Ψ_w</p>	<p>↑: P_N, A, WUE, g_s,</p> <p>↑: F_v/F_m (po 4 dni vegetativní, 2 dni generativní)</p> <p>↓: ABA, ACC</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>Ψ_w</p>	(Ahmed <i>et al.</i> , 2006)
<i>Zea mays</i> L.	<p>Fotoperioda 16 h, relativní vzdušná vlhkost den/noc 45/70 %, teplota den/noc 25/22 °C plastové květináče 5,9 l, substrát hnědá sprašová zemina pH 7,3, objem substrátu 5 l, celková pórovitost 48 %, růstová komora</p> <p>Semena klíčila na vlhkém filtračním papíru 5 dní, 5 semen zaseto 1 cm hluboko, po 5 dnech jednocení na 3 rostliny, po 12 dnech v růstové komoře vystaveny zaplavením 12 dnů, hladina vody dosahovala 5-10 mm nad úroveň substrátu.</p>	<p>↑: SOD, Rd</p> <p>↓: ODR, Eh,</p> <p>↓: DWR, DWN</p> <p>↓: Chl (a+b), KAR</p> <p>↓: MDA, listové bílkoviny</p> <p>SOD (po 12 dnech)</p>	Není uvedeno	(Bennicelli <i>et al.</i> , 1998)
<i>Zea mays</i> L.	<p>Fotoperioda 12 h, teplota den/noc 24/20 °C, relativní vzdušná vlhkost 60 %, substrát Eutric Fluvisol pH 5,75</p> <p>14 dní od zasezení, zaplavení 72, 96 a 120 hodin, hladina vody 25 mm nad úrovní substrátu, odběr 2 a 3 listové patro.</p>	<p>↑: Ci, PEPC</p> <p>↑: Pro, H₂O₂, MDA, IPM</p> <p>↓: P_N, A, Chl</p> <p>↓: RuBPC, rozpustné proteiny</p> <p>Neovlivňuje</p> <p>g_s</p>	Není uvedeno	(Yordanova <i>et al.</i> , 2007)

<i>Zea mays</i> L (HZ32 odolný K12 citlivý)	Fotoperioda 13 h, teplota den/noc 30/22 °C relativní vzdušná vlhkost 65 %, plastové květináče 18,5/15,5 cm (průměr/hloubka) obsahujících 3,5 kg přesáté sterilizované polní zeminy s přídavkem 1 g (NH ₄)SO ₄ ; 0,8 g P ₂ O ₅ a 0,6 g K ₂ O na 1 kg zeminy, skleník Zaplavení 2, 4, 6, 8 a 10 dní, hladina vody 2 až 3 cm nad úroveň substrátu	Nadzemní část ↑: MDA, SOD, POD, CAT, APX, GR Po 4 dni ↓: POD Kořeny ↑: CAT (citlivý do 2 dne), POD (odolný), APX, GR (odolný), MDA ↓: SOD, POD (citlivý), CAT (odolný) CAT (citlivý po 4 dni), GR (citlivý)	Není uvedeno	(Bin <i>et al.</i> , 2010)
<i>Zea mays</i> L. (odolný a citlivý genotyp)	Květináče 2x3,5 m, spon 40x20cm, písčná zemina 15 dní od zasezení zaplaveny po dobu 18 hodin,	Listy ↑: SOD, GR, AXP (citlivý), CAT (odolný), H ₂ O ₂ (citlivý), POX (odolný) Neovlivňuje AXP (odolný), CAT(citlivý), H ₂ O ₂ (odolný), ADH, ALDH, POX (citlivý) Kořeny ↑: SOD (odolný), GR, AXP (odolný), CAT, ADH, ALDH (odolný) Neovlivňuje SOD (citlivý), AXP (citlivý), ALDH (citlivý)	Není uvedeno	(Chugh <i>et al.</i> ,2012)

<i>Zea mays</i> L.	Teplota den/noc 33/25 °C, plastové květináče 30/20 cm (průměr/hloubka) obsahující 3,5 kg prosáté sterilizované polní zeminy s přidavkem 1 g (NH ₄)SO ₄ ; 0,8 g P ₂ O ₅ a 0,6 g K ₂ O na 1 kg zeminy. Vývojové stádium plně vyvinutého 2 listu, zaplavení 6 a 12 dní, hladina vody 2-3 cm nad úroveň substrátu	↑: MDA ↓: DWR, DWN ↓: POD, WTC	Není uvedeno	(Yong-zhong <i>et al.</i> , 2010)
<i>Zea mays</i> L (citlivé a odolné genotypy)	Fotoperioda 12 h, teplota 30 °C, plastové květináče 0,25 l, substrát hnůj a siphoned zemina (1:1), růstová komora, měřeno na kořenech Stáří 7 dní (vyvinut 2 list), zaplavení 72 h, hladina vody 3 cm nad úrovní substrátu	↑: H ₂ O ₂ (citlivý), ABA (odolné) ↑: GR, ADH, ALDH (odolné), PDC (odolné) ↓: H ₂ O ₂ (odolné genotypy a jeden citlivý), ABA (citlivý) ↓: SOD, CAT, AXP, GR, ALDH (citlivé), PDC (citlivé)	Není uvedeno	(Chugh <i>et al.</i> , 2011)
<i>Zea mays</i> (citlivý genotyp)	Fotoperioda 12 h, teplota den/noc 28/20 °C, plata, vnitřní rozměry 30x15cm, hnědozem, přihnojeno 5 g N, 1,5 g P a 1,5 g K na plato, růstová komora Vývojové stádium plně vyvinutého 4 listu, zaplavení 7 dní, hladina vody 2 cm nad úrovní substrátu	↑: IPM, MDA, H ₂ O ₂ , O ₂ ⁻ , ↑: SOD (do 2 dne), ASA, GSH ↓: Chl ↓: SOD (od 2 dne), CAT, GR	Není uvedeno	(Liu <i>et al.</i> , 1996)
<i>Zea mays</i>	Fotoperioda 10 h, teplota den/noc 27/20 °C, Plastové květináče 12 cm průměr (1 kg substrátu), písek a jílovitá zemina (1:1), růstová komora 3 dny klíčení na Petriho misce poté výsadba, zaplavení 5 dní od výsadby po dobu 8 dní, hladina vody 2 cm ode dna květináče	↑: IMP, MDA, H ₂ O ₂ , O ₂ ⁻ ↑: SOD, CAT (do 48h), AXP (do 96h), GR (do 96h), ASA, GSH ↓:CAT (po 96h), AXP (po 144h), GR (192h)	Není uvedeno	(Jamei <i>et al.</i> , 2009)

Seznam zkratk použitých v Tabulce 1:

A	Rychlost transpirace	LDH	Laktát dehydrogenáza
ABA	Kyselina askorbová (obsah)	MDA	Malondialdehyd (obsah)
ACC	Ethylenu (obsah)	MDHAR	Malondehydoaskorbát reduktáza (aktivita)
ADH	Alkohol dehydrogenáza (aktivita)	NPQ	Koeficient nefotochemického zhášení
APX	Askorbát peroxidáza (aktivita)	ODR	Míra difuze kyslíku
AsA	Kyselina askorbová (obsah)	P _{max}	Maximum fotosyntézy
CAT	Aktivita katalázy	PDC	Pyruvát dekarboxyláza (aktivita)
C _i	Hodnota mezibuněčné koncentrace CO ₂	PEPC	Aktivita fosfoenolpyruvátkarboxylázy
C _i /C _a	Atmosférická koncentrace CO ₂ /vnitrobuněčná koncentrace CO ₂	Pig	Koncentrace fotosyntetických pigmentů
DHA	Dehydroaskorbát (obsah)	PL	Plocha listu
DHAR	Dehydroaskorbát reduktáza (aktivita)	PLR	Počet lusků na rostlinu
DW	Suchá hmotnost	PN	Rychlost čisté fotosyntézy
DWL	Suchá hmotnost listu	POD	Peroxidáza (obsah)
DWN	Suchá hmotnost celé nadzemní části	PPO	Polyphenoloxidáza (aktivita)
DWP	Suchá hmotnost celé rostliny	PS	Počet semen
DWS	Suchá hmotnost stonku	qP	Koeficient fotochemického zhášení
DWR	Suchá hmotnost kořenů	Rd	Stomatální difuzní rezistence
Eh	Redoxní potenciál půdy	Pro	Prolin (obsah)
ET0	Rychlost přenosu elektronu	R _D	Temnostní respirace
F ₀	Minimální fluorescence v listech adaptovaných na tmu	RUBPC	Aktivita ribulosa-1,5-bisfosfátkarboxyláza
Fm	Maximální fluorescence v listech adaptovaných na tmu	spHm	Specifická hmotnost listu
Fv/Fm	Maximální kvantový výtěžek fotosystému II	SOD	Super oxid dismutáza
F ₀ /Fm	Kvantový výtěžek disipace zachycené energie	ŠS	Šířka stonku
FWK	Čerstvá hmotnost kořenů	TBARS	Thiobarbiturová kyselina (obsah)
GR	Glutathion reduktáza (aktivita)	VR	Výška rostliny
g _s	Stomatální vodivost	WUE	Efektivní využití vody
GSH	Redukovaný glutathion (obsah)	WEUi	Skutečná efektivita využití vody
GSSG	Oxidovaný glutathion (obsah)	WTC	Koeficient odolnosti vůči záplavení
H ₂ O ₂	Peroxid vodíku (obsah)	α	Zdánlivé kvantum účinnosti fotosyntézy
IPM	Index poškození membrán	φPSII	Kvantový výtěžek fotosystému II
Chl	Obsah chlorofylu	ψ _{md}	Polední xylémový vodní potenciál
Chla	Obsah chlorofylu a	ψ _p	Polední tlakový potenciál
Chlb	Obsah chlorofylu b	ψ _w	Listový vodní potenciál
LCD	Světelný kompenzační bod	Γ _{PAR}	Kompenzace ozáření

4. Materiál a metodika

4.1. Pokusný materiál

Pro pokusy byly vybrány inbrední linie kukuřice seté (*Zea mays* L.) 2023, CE704 a jejich reciprocí kříženci (2023xCE704 a CE704x2023). Semena pochází ze šlechtitelské stanice CEZEA v Čejči u Hodonína. Pokusný materiál byl vybrán na základě výsledků předchozích pokusů. V pokusech bylo zpracováno celkem 816 rostlin.

4.1.1. Kukuřice setá

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) se systematicky zařazuje do čeledi *Poaceae*, řádu *Poales*, třídy *Liliopsida* a oddělení *Magnoliophyta*. Jedná se o hospodářsky významnou plodinu pocházející ze Střední Ameriky, která je pěstována a využívána jako krmivo, technická plodina nebo dále zpracovávána v potravinářském průmyslu.

Inbrední linie 2023 v polních podmínkách dorůstá výšky 150 cm. Je pro ni charakteristický pomalejší vývoj a velmi dobrý výnos. Inbrední linie CE704 je nižšího vzrůstu, v polních podmínkách dorůstá výšky zhruba 130 cm. Vyznačuje se však rychlejším vývojem a oproti linii 2023 menším výnosem. Ve srovnání s linií 2023 se vyznačuje vyšší odolností k suchu a chladu. Reciprocí kříženci 2023xCE704 a CE704x2023 dorůstají větší výšky a dosahují vyšších výnosů oproti rodičovským inbredním liniím 2023 a CE704.

4.2. Organizace pokusů

Pokusné rostliny byly pěstovány ve dvou sériích (série I, II), které představovaly různé staré rostliny. Vzhledem k potřebnému množství pokusného materiálu byl v každé sérii zvolen postupný výsev do 5 bloků, který umožnil zvládnout měření všech plánovaných parametrů na dostatečném počtu rostlin v odpovídající vývojové fázi. Pokusné rostliny byly vysévány v březnu 2016, výsev byl rozložený do pěti po sobě jdoucích dnů. Následná měření na rostlinách a odběry vzorků pro pozdější zpracování probíhaly v příslušném posunutém uspořádání.

Z každé pokusné série byla polovina rostlin vystavena stresu zaplavením a druhá byla pěstována v optimálních pěstebních podmínkách. Po ukončení 10denní stresové periody následovalo měření studovaných parametrů a odběr vzorků pro pozdější biochemické analýzy. Z každé varianty pěstování a pokusné série se zpracovala polovina rostlin. Zbylé rostliny byly dále pěstovány 21 dní v optimálních podmínkách, po kterých následovalo opět měření studovaných parametrů a odběr vzorků pro pozdější biochemické analýzy. Měření s odběry vzorků u stresovaných rostlin probíhala během měsíce dubna a u obnovy rostlin v květnu. Měření biochemických parametrů probíhalo od července do září 2016.

Rostliny jednotlivých genotypů byly v každém pokusném bloku, který odpovídal dni výsevu, rozmístěny zcela náhodně, aby byl minimalizovaný vliv umístění rostlin. Časové rozpětí pokusu bylo zvoleno tak, aby se nepřekrývaly odběry a zpracování jednotlivých sérií.

Tabulka 2: Časový rozpis pěstování, měření a odběru pokusného materiálu.

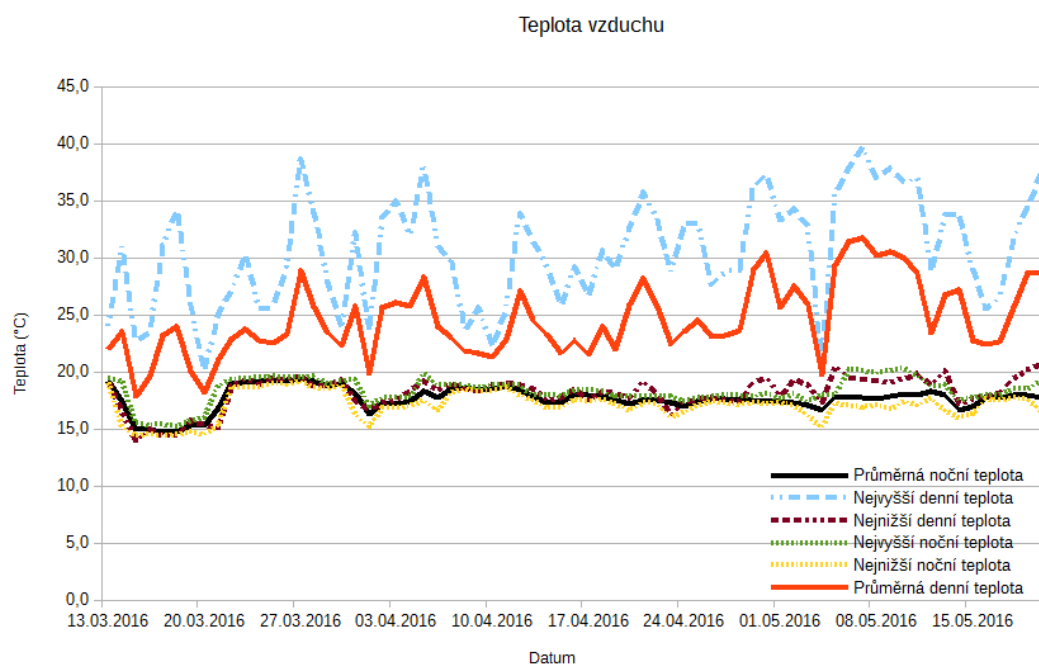
Pokusná série I		Pokusná série II	
	Stáří rostliny (den)		Stáří rostliny (den)
Výsev	0	Výsev	0
Jednocení	10	Jednocení	10
Začátek zaplavení	18	Začátek zaplavení	32
Konec zaplavení	28	Konec zaplavení	42
Odběr a měření 4 listové patro	28	Odběr a měření 5 listové patro	42
Začátek obnovy	28	Začátek obnovy	42
Konec obnovy	48	Konec obnovy	62
Odběr a měření 6 listové patro	49	Odběr a měření 8 listové patro	63

4.2.1. Podmínky pěstování pokusných rostlin před zahájením stresu zaplavením

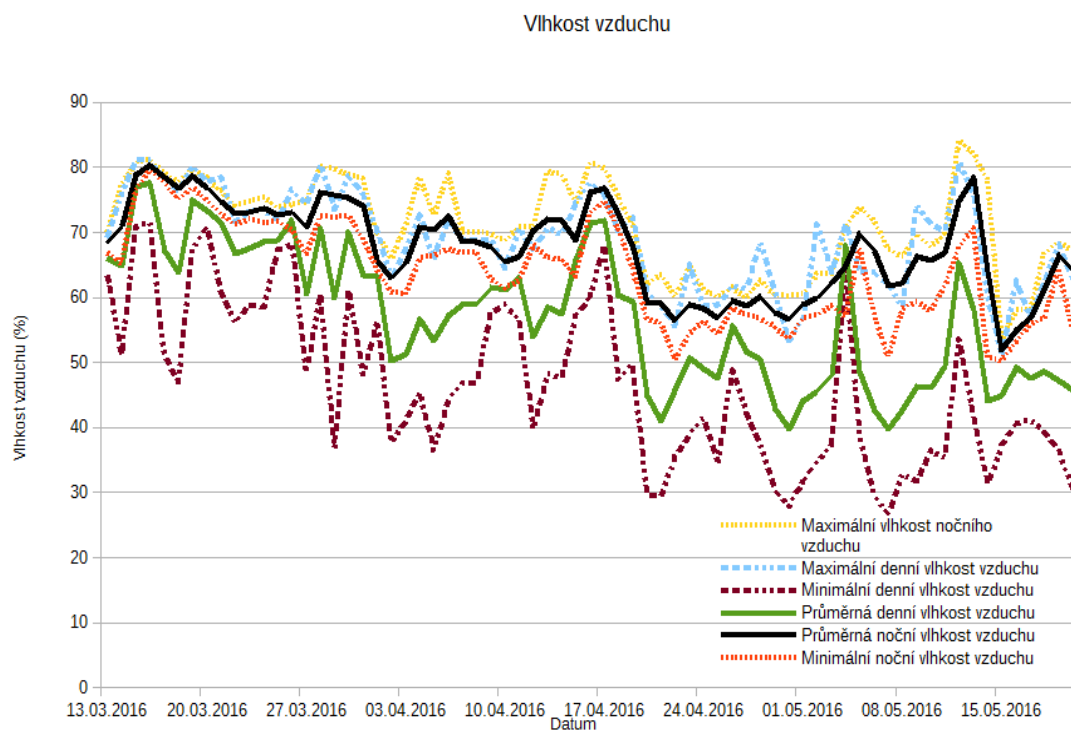
Rostliny byly pěstovány ve skleníku v Brožkově genetické zahradě katedry genetiky a mikrobiologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze (54°04' severní šířky, 14°25' východní délky, nadmořská výška 238 metrů). Rostliny byly pěstovány v přirozených světelných podmínkách. Teplota (obr. 1) a vlhkost vzduchu (obr. 2) odpovídaly pěstování ve skleníku s regulovanou teplotou. Průměrná vlhkost vzduchu byla 60 % a kolísala v závislosti na teplotě (obr. 2).

Semena kukuřice byla vyseta do květináčů o objemu 770 ml naplněných zahradní zeminou (výška květináče 10 cm, průměr 11 cm). Do každého květináče byla vyseta 2 semena příslušného genotypu. Ve stáří 10 dnů od výsevu, pokud došlo k vyklíčení obou semen, byla jedna rostlina opatrně i s kořenem odstraněna. Poté byly všechny rostliny pravidelně zalévány až do začátku stresu zaplavením. Polovina rostlin v každé sérii byla vybrána jako kontrolní a druhá polovina byla určena pro zaplavení. Kontrolní rostliny byly po celou dobu experimentu dále zalévány horní zálivkou a každý den byla stanovena vlhkost substrátu (obr. 3).

Obrázek 1: Teplota vzduchu (°C) ve skleníku po celou dobu experimentu.



Obrázek 2: Vlhkost vzduchu (%) ve skleníku po celou dobu experimentu.



Obrázek 3: Vlhkost pěstebního substrátu v květináčích od počátku stresové periody do ukončení experimentu. Série I znázorňuje vlhkost půdy u kontrolních (označeny K) a stresovaných (označeny V) rostlin od vystavení stresu ve stáří 18 dnů. Série II znázorňuje vlhkost půdy u rostlin od vystavení stresu ve stáří 32 dnů do ukončení experimentu. Rostliny byly stresu vystaveny po dobu 10 dní.



4.2.2. Pěstování rostlin v podmínkách nadměrného zaplavení

Pro pěstování rostlin v podmínkách nadměrného zaplavení byly použity plastové kontejnery (výška 15 cm, šířka 50 cm, délka 75), které byly 24 hodin před začátkem stresu zaplavením postupně naplněny vodou do výšky 15 cm. Do takto připravených kontejnerů byla postupně tak, jak odpovídalo výsevu pokusných rostlin, umístěna polovina květináčů.

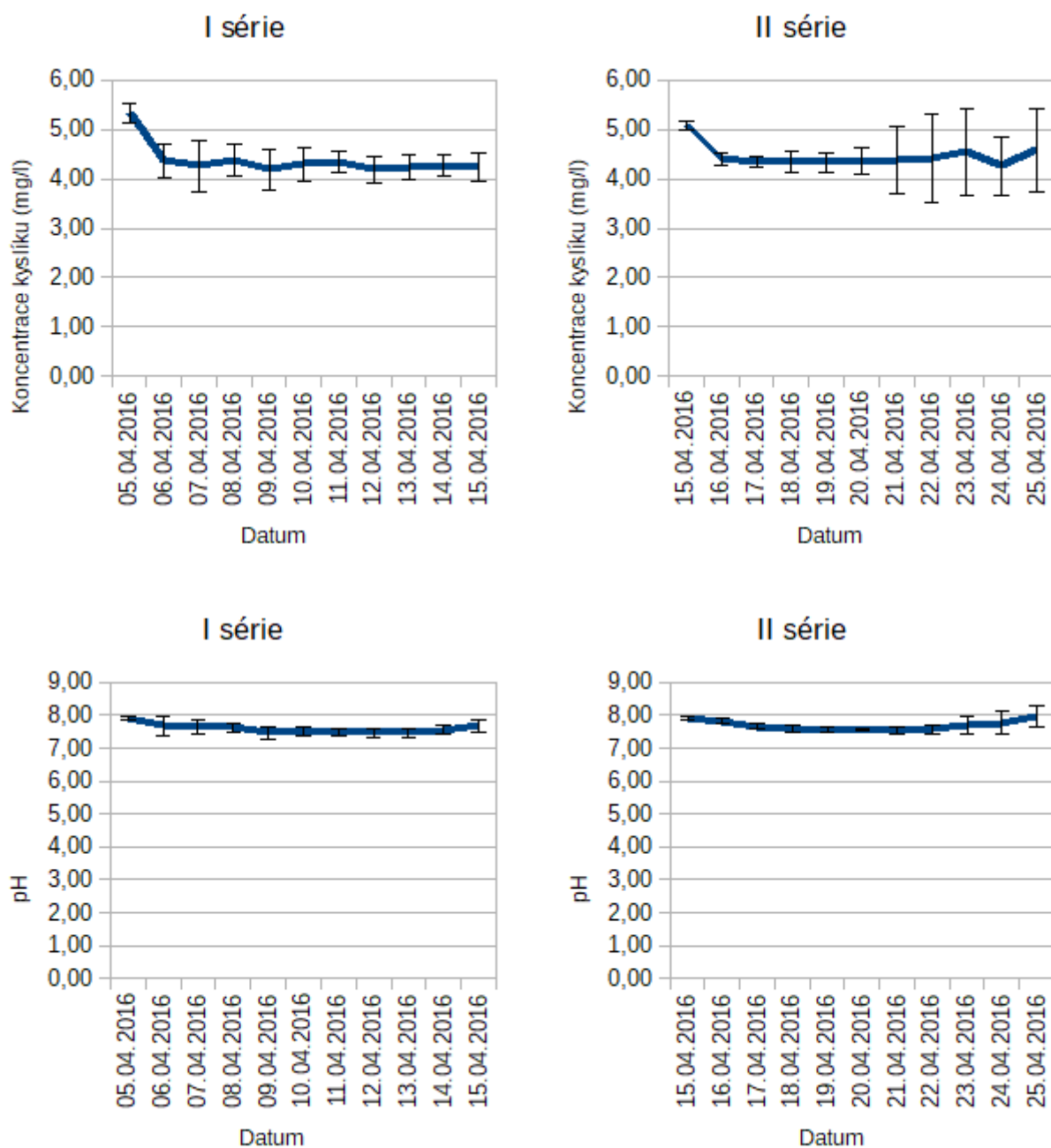
V pokusné sérii I byly stresu zaplavením vystaveny 18 dnů staré rostliny, v pokusné sérii II rostliny ve stáří 32 dní. Výška hladiny vody v kontejnerech dosahovala výšky substrátu v květináčích a na této úrovni byla udržována postupným doplňováním předem odstátou vodou.

Po celou dobu zaplavení byla každý den ve stejný čas měřena koncentrace kyslíku a pH vody (obr. 4). Uvedené hodnoty koncentrace kyslíku a pH představují aritmetický průměr čtyř měření v každém kontejneru.

4.2.3. Obnova

Po ukončení stresové periody byly rostliny vyjmuty z kontejnerů, umístěny ve skleníku a dále pěstovány ve shodných podmínkách jako kontrolní rostliny. K obnovení zálivky došlo v momentě, kdy se vlhkost substrátu stresovaných rostlin vyrovnala vlhkosti kontrolních (obr. 3)

Obr. 4: Grafy koncentrace kyslíku a pH vody v kontejnerech. V jednotlivých dnech jsou znázorněny statistické odchylky. V grafu jsou znázorněny hodnoty od počátku vystavení stresu zaplavením až po jeho ukončení.



4.3. Metodika

V každém pokusném dnu série I i II byla měření jednotlivých parametrů prováděna na jednom listu každého genotypu u rostlin vystavených stresu i pěstovaných v optimálních podmínkách (tab. 2). Nejprve byly měřeny nedestruktivní parametry (reflektance a fluorescence chlorofylu), při kterých nedochází k žádnému poškození rostlin. Po těchto měřeních následovalo měření gazometrických parametrů a poté morfologických parametrů, včetně odběrů, při kterých již dochází k destrukci rostliny (odběr listových terčků pro měření indexu poškození membrán, odběr listových terčků pro stanovení specifické hmotnosti listu, odběr listových terčků pro stanovení množství chlorofylů a karotenoidů a odběr části listu pro stanovení relativního množství vody v listu). Výsledné hodnoty těchto parametrů byly aritmetickým průměrem hodnot získaných z 5 rostlin, které představovaly biologická opakování příslušného genotypu a pěstování. Z jednotlivých 5 bloků postupného výsevu byla použita z každého bloku 1 rostlina příslušného genotypu a pěstování

Kromě výše uvedených měření a odběrů pro okamžitá stanovení parametrů byly z prvního bloku postupného výsevu z 32 rostlin, z druhého bloku postupného výsevu z 24 rostlin, z třetího bloku postupného výsevu z 32 rostlin, z čtvrtého bloku postupného výsevu z 24 rostlin a z pátého bloku postupného výsevu z 64 rostlin, na kterých nebyla dosud prováděna žádná měření, odebrány vzorky listového pletiva, které byly zamrazeny pro následná stanovení koncentrace MDA, koncentrace H_2O_2 a stanovení aktivity katalázy. Pro odběr z daného listového patra bylo určeno 22 rostlin každého genotypu a příslušného pěstování. Výsledné hodnoty těchto parametrů byly aritmetickým průměrem 10 měření.

4.3.1. Morfologické parametry

Morfologie pokusných rostlin byla posuzována na základě měření výšky rostlin, počtu listů, plochy listů, specifické hmotnosti listu, čerstvé a suché hmotnosti nadzemní části a kořenů.

Výška rostlin byla měřená jako kolmá výška rostliny od báze nadzemní části rostliny (měřeno od substrátu) ke špičce listu ve vrcholové růžici a výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu (měřeno od substrátu po jazýček nejmladšího vyvinutého listu).

Dále byl stanoven počet plně vyvinutých listů (za plně vyvinutý byl považován list, který měl viditelný jazýček) a počet viditelných listů.

Plocha listu a následně plocha všech fotosyntetizujících listů byla stanovena na základě měření délky listu (od špičky po bázi listu) a střední šířky listu (šířka listu v nejširším místě) podle vzorce.

$$LA = D \times \bar{S} \times KPL$$

LA = plocha listu (mm²)

D = délka listu (mm)

\bar{S} = střední šířka listu (mm)

KPL = koeficient pro výpočet plochy listu

Tabulka 3: Hodnoty koeficientů pro výpočet plochy jednotlivých listů u inbredních linií kukuřice 2023 a CE704 a jejich kříženců F1 generace, vypočítané na základě gravimetrického stanovení plochy listů 50 rostlin každého genotypu.

Genotyp	List												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2023	0,78	0,79	0,75	0,70	0,70	0,69	0,71	0,73	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
CE704	0,76	0,78	0,75	0,73	0,72	0,72	0,73	0,72	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69
2023xCE704	0,75	0,79	0,83	0,73	0,74	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
CE704x2023	0,77	0,76	0,78	0,71	0,72	0,68	0,76	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74

(Převzato a upraveno z Benešová 2014)

Pro stanovení specifické hmotnosti listu (SpHm) byly ze střední části listové čepele pomocí kruhového razidla vyseknuty 4 terčíky o průměru 6 mm, u nichž byla stanovena čerstvá hmotnost a následně suchá hmotnost (po sedmi dnech sušení při 80 °C v sušárně). Výsledná hodnota SpHm byla vypočítána podle vzorce:

$$SpHm = \frac{m_{st}}{S_t \times P}$$

S_t = plocha terčíku (m²)

P = počet terčíků

m_{st} = suchá hmotnost terčíků (kg)

SpHm = specifická hmotnost listu (kg/m²)

Čerstvá hmotnost biomasy nadzemní části rostliny byla stanovena jako součet hmotností listů a zbylé nadzemní části po stanovení hmotnosti biomasy kořenů. Jednotlivé listy byly

odstřiženy a zváženy na analytických vahách. Pro stanovení suché hmotnosti byly listy a nadzemní část sušeny 10 dnů při 80 °C a poté zváženy.

Před stanovením čerstvé hmotnosti biomasy kořenů byly rostliny s již odstřiženými listy šetrně vyjmuty z květináče a proudem vody byl opatrně omyt zbylý substrát tak, aby nedošlo k poškození a ztrátě kořenů. Po oddělení zbylé nadzemní části rostlin byly kořeny zváženy na analytických vahách pro stanovení čerstvé hmotnosti a poté 10 dnů sušeny při 80 °C pro určení suché hmotnosti.

4.3.2. Vodní stav rostlin

4.3.2.1. Relativní obsah vody

Ze střední části čepele analyzovaných listů byla vystřižena část listu (zhruba 4 cm), u níž byla okamžitě stanovena čerstvá hmotnost. Část listu byla hned po zvážení umístěna do falkonek, o objemu 15 ml, naplněných až po okraj destilovanou vodou a bezprostředně poté uzavřených šroubovacím uzávěrem. Takto připravený vzorek byl ve vodě ponechán 5 hodin. Po uplynutí této doby byly části listového pletiva vyjmuty, opatrně osušeny gázou a opět zváženy na analytických vahách, pro stanovení nasycené hmotnosti. Poté byl vzorek listu sušen po dobu 7 dní v sušárně při 80 °C a následně byla stanovena jeho suchá hmotnost. Relativní obsah vody v listu byl vypočítán pomocí vzorce:

$$RWC = 100 \times [(FW-DW) / (SW-DW)]$$

FW = čerstvá hmotnost

DW = suchá hmotnost

SW = nasycená hmotnost

RWC = Relativní obsah vody v listu

4.3.2.2. Gazometrické parametry

S využitím gazometrických metod byly stanoveny hodnoty otevřenosti průduchů, rychlost transpirace, vnitřní efektivita využití vody, okamžitá efektivita využití vody a rychlost čisté fotosyntézy. Otevřený gazometrický systém umožňuje na vybraném listu sledovat v reálném čase současně několik rozdílných parametrů. List byl šetrně umístěn do měřicí komůrky tak, aby ji celou vyplnil. V případě, že analyzovaný list je užší než 6,25 cm,

je nezbytné přesnou šířku listu předem zadat, aby naměřené hodnoty byly automaticky přepočítány na odpovídající plochu listu.

Na vstupu a výstupu měřící komůrky jsou umístěna čidla, která pomocí infračerveného plynového analyzátoru detekují změny koncentrace oxidu uhličitého, vodní páry a změnu rychlosti průtoku vzduchu.

Měření probíhala vždy dopoledne v rozmezí 9:00 až 11:30 hodin, při teplotě, ozáření a koncentraci CO₂. Měření jednoho vzorku trvalo přibližně 15 minut a během této doby přístroj registruje 15 hodnot, z nichž na základě níže uvedených vzorců odvodí jednotlivé parametry:

Rychlost transpirace:

$$E = \frac{\Delta e u_s}{p}$$

$E \text{ (mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})$ = rychlost transpirace

$\Delta e \text{ (mbar)}$ = rozdíl koncentrace vodní páry na vstupu a výstupu měřící komory

$u_s \text{ (mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ = průtok vzduchu na m² listové plochy

Stomatální vodivost:

$$g_s = \frac{E}{W_{leaf} - w_{m_{an}}} - \frac{1}{r_b}$$

$g_s \text{ (mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$ = stomatální vodivost

$E \text{ (mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})$ = rychlost transpirace

$w_{leaf} \text{ (mol mol}^{-1})$ = koncentrace saturované vodní páry při teplotě listu

$w_{m_{an}} \text{ (mol mol}^{-1})$ = koncentrace vodní páry při výstupu z komory

$r_b \text{ (m}^2\text{s mol}^{-1})$ = difuzní vodivost povrchové vrstvy listu

Z takto získaných hodnot byla následně vypočítána okamžitá efektivita využití vody:

$$WUE = \frac{P_N}{E}$$

WUE ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$) = okamžitá efektivita využití vody

P_N ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) = rychlost čisté fotosyntézy

E ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) = rychlost transpirace

a vnitřní efektivita využití vody:

$$WUE_i = \frac{P_N}{g_s}$$

WUE_i ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) = vnitřní efektivita využití vody

P_N ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) = rychlost čisté fotosyntézy

g_s ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) = stomatální vodivost

4.3.3. Fotosyntetické parametry

4.3.3.1. Gazometrické parametry

Rychlost čisté fotosyntézy se vyjadřuje jako rychlost asimilace oxidu uhličitého.

$$P_N = u_s \Delta c$$

P_N ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) = rychlost čisté fotosyntézy

u_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) = průtok vzduchu na m^2 listové plochy

Δc ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) = rozdíl koncentrace oxidu uhličitého na vstupu a výstupu měřicí komůrky

4.3.3.2. Fluorescence chlorofylu

Pro měření fluorescence chlorofylu byl použit přístroj *FluorPen FP100max*, který stanovuje hodnoty fluorescence chlorofylu pomocí světelného excitačního pulsu o vlnové délce 455 nm a intenzitě $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ po dobu 1 ms. Měření byla prováděna u temnotně adaptovaných rostlin (po dobu 20 min) v 8:45 hodin. Na každém analyzovaném listu

se na odlišném místě svrchní strany listové čepele prováděla dvě měření, jejichž průměrná hodnota charakterizovala dané měření. Fluorescence byla měřena v časovém rozmezí 10 μ s až 2 s. Hodnoty fluorescence z různých časových bodů (tab. 4) poté byly využity pro výpočty fluorescenčních parametrů charakterizujících různé děje ve fotosyntetickém aparátu během primární fáze fotosyntézy podle Strasser *et al.* (2000), Strasser *et al.* (2004), Stirbet a Govindjee (2011).

Tabulka 4: Vybrané fotosyntetické parametry JIP testu, vypočítané na základě hodnot fluorescence chlorofylu v časech 40 μ s (F0), 300 μ s (FK), 2 ms (FJ), 30 ms (FI) a maximální fluorescence (Fm), naměřených během rychlé fáze fluorescenčního přechodového jevu (OJIP). PS ... fotosystém, RC ... reakční centrum.

Parametr	Biologický význam	Vzorec pro výpočet
VJ	Relativní variabilní fluorescence v bodě J	$(FJ-F0)/(Fm-F0)$
VI	Relativní variabilní fluorescence v bodě I	$(FI-F0)/(Fm-F0)$
M0	Přibližný počáteční sklon OJIP křivky fluorescenčního přechodového jevu	$4 \times (FK-F0)/(Fm-F0)$
$\phi P0$	Maximální kvantový výtěžek fotochemické přeměny energie v PSII	$(Fm-F0)/Fm$
$\phi E0$	Kvantový výtěžek toku přenosu elektronů z QA na QB	$[1-(F0/Fm)] \times \psi E0$
$\phi RE0$	Kvantový výtěžek toku přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI	$1-(FI/Fm)$
$\phi D0$	Kvantový výtěžek disipace zachycené energie	$F0/Fm$
$\psi E0$	Účinnost/pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z QA na QB	$1-VJ$
$\psi RE0$	Účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen až na koncové akceptory PSI	$1-VI$
$\delta RE0$	Účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z QB až na koncové akceptory PSI	$(1-VI)/(1-VJ)$
γRC	Pravděpodobnost, že PSII chlorofyl funguje jako RC	$1/(ABS/RC+1)$
ABS/RC	Průměrný tok zachycených fotonů vyjádřený na jedno PSII RC (zdánlivá velikost světlosběrné antény aktivního PSII)	$(M0/VJ) \times (1/\phi P0)$
TP0/RC	Maximální tok zachycených excitonů vyjádřený na jedno PSII RC	$M0/VJ$
ET0/RC	Tok přenosu elektronů z QA na QB vyjádřený na jedno PSII RC	$(M0/VJ) \times \psi E0$
RE0/RC	Tok přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI vyjádřený na jedno PSII RC	$(M0/VJ) \times \psi RE0$
DI0/RC	Tok disipované energie vyjádřený na jedno PSII RC	$(ABS/RC) - (TP0/RC)$
PIABS	Performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci QB	$[1/(ABS/RC)] \times [\phi P0/(1-\phi P0)] \times [\psi E0/(1-\psi E0)]$
PITOTAL	Performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci koncových akceptorů PSI	$PIABS \times [\delta RE0/(1-\delta RE0)]$

(Převzato a upraveno z Benešová 2014)

4.3.3.3. Fotosyntetické pigmenty

Ze střední části listové čepele pokusného listu byly pomocí kruhového razidla vysekány 4 terčíky o průměru 6 mm. Terčíky byly vloženy do tlustostěnné skleněné zkumavky, ihned po vyseknutí všech vzorků byly zality 5 ml N,N-dimetylformamidu a promíchány. Zkumavky byly překryty parafilmem a uloženy do lednice. Následující den byly vzorky opět promíchány a znovu umístěny do lednice, kde byly ponechány extrahovat po dobu 6 dnů. Těsně před měřením byly vzorky opět promíchány a změřila se absorbance o vlnových délkách 480 nm, 647 nm, 664 nm, a 710 nm. Obsahy fotosyntetických pigmentů byly následně vypočítány podle vzorců (Wellburn et al 1994):

$$Chl\ a = 11,65 \times (ABS_{664} - ABS_{710}) - 2,69 \times (ABS_{647} - ABS_{710})$$

$$Chl\ b = 20,81 \times (ABS_{647} - ABS_{710}) - 4,53 \times (ABS_{664} - ABS_{710})$$

$$Kar = [1000 \times (ABS_{480} - ABS_{710}) - 0,89 \times Chl\ a - 52,02 \times Chl\ b] / 245$$

ABS_{664} = absorbance při vlnové délce 664 nm

ABS_{710} = absorbance při vlnové délce 710 nm

ABS_{647} = absorbance při vlnové délce 647 nm

ABS_{480} = absorbance při vlnové délce 480 nm

4.3.3.4. Indexy spektrální odrazivosti

Indexy PRI a NVDI byly měřeny na svrchní straně listové čepele příslušného listu pomocí přístrojů *PlantPen NDVI 300* a *PlantPen PRI 200*. U každého listu byla provedena dvě technická opakování (každé na jiném místě listu), jejichž průměrná hodnota charakterizovala jeden měřený list. Hodnoty parametrů se počítají z rozdílů odrazivosti dvou monochromatických záření od povrchu listu podle příslušných vzorečků:

$$PRI = (R_{570} - R_{531}) / (R_{570} + R_{531})$$

$$NDVI = (R_{760} - R_{635}) / (R_{760} + R_{635})$$

R_{570} = odrazivost při vlnové délce 570 nm

R_{531} = odrazivost při vlnové délce 531 nm

R_{760} = odrazivost při vlnové délce 760 nm

R_{635} = odrazivost při vlnové délce 635 nm

4.3.4. Parametry poškození buněk

4.3.4.1. Index poškození membrán

Ze střední části listové čepele příslušného listu bylo pomocí kruhového razidla vysekáno 15 terčíků o průměru 6 mm, které se následně inkubovaly v 10 ml destilované vody při teplotě 5 až 10 °C po dobu 24 hodin. Poté se vzorek nechal volně inkubovat na pokojovou teplotu a změřila se jeho konduktivita, která je měřítkem poškození pletiva, k němuž dojde v důsledku vyseknutí terčíků. Vzorek byl poté ve vodní lázni přiveden k bodu varu a 15 minut se nechal povařit. Následovalo zchlazení vzorku na pokojovou teplotu a opětovné změření konduktivity. Tato hodnota vyjadřuje maximální poškození pletiva. Výpočet procentuálního poškození membrán byl proveden podle vzorečku:

$$I = \frac{C_1}{C_2} \times 100$$

I (%) = index poškození membrán

C_1 ($\mu\text{S m}^{-1}$) = konduktivita měřená po 24 hodinové inkubaci

C_2 ($\mu\text{S m}^{-1}$) = konduktivita měřená po 15 minutách varu

(Upraveno a modifikováno dle Hatami & Ghorbanpour, 2014)

4.3.4.2. Obsah malondialdehydu

Pro stanovení obsahu malondialdehydu byl nejprve z analyzovaného listu odstraněn hlavní cévní svazek a z listové čepele odebráno 0,2g pletiva, které bylo okamžitě zabaleno do alobalu, zamrazeno v tekutém dusíku a poté uloženo do hluboko mrazicího boxu (-80 °C). Takto uskladněné vzorky byly s určitým časovým odstupem od odběru postupně zpracovány.

Vzorek listového pletiva z hlubokomrazicího boxu byl ihned homogenizován v třecí misce v tekutém dusíku. Následně bylo třikrát po sobě za stálého roztírání přidáno 0,7 ml 80 % etanolu. Vzniklý homogenát se kvantitativně převedl do Eppendorf zkumavky o objemu 2 ml a následně centrifugoval při 14 000x g a teplotě 4 °C po dobu 20 minut. Poté bylo 0,7 ml ze supernatantu odebráno do dvou tlustostěnných zkumavek. Do jedné zkumavky bylo přidáno

0,7 roztoku TBA – (20 % roztok kyseliny trichloroctové s 0,01 % obsahem butylovaného hydroxytoulenu), do druhé zkumavky 0,7 ml roztoku TBA + (0,65 % roztok kyseliny thiobarbiturové v 20% kyselině trichloroctové a 0,01% obsahem butylovaného hydroxytoulenu). Takto připravené vzorky byly promíchány a inkubovány po dobu 25 minut při 95 °C. Následovalo prudké schlazení, cetrifugace při 14 000x g a 4 °C po dobu 20 minut. Vzniklý supernatant byl použitý pro změření absorbance při vlnové délce 440 nm, 532 nm, a 600 nm, kdy dochází k měření červeného pigmentu, který se detekuje pomocí spektrofotometru (Janero, 1990). Obsah MDA by vypočítán podle následujícího vzorce:

$$MDA = \frac{A_{532} - A_{600}}{155\ 000} \times 10^6$$

155 000 = koeficient extinkční molarity pro MDA

MDA (nmol ml⁻¹) = množství MDA na mililitr vzorku

A₅₃₂ = absorbance vzorku při vlnové délce 532 nm, maximální absorbance TBA-MDA komplexu

A₆₀₀ = absorbance vzorku při vlnové délce 600 nm, korekce pro nespecifické zakalení

(Převzato a modifikováno dle Hodges et al., 1999)

4.3.4.3. Obsah peroxidu vodíku

Současně s odběrem vzorků pro stanovení obsahu malondyaldehydu bylo stejným způsobem odebráno a zamraženo 0,5 g listového pletiva pro následovné stanovení obsahu peroxidu vodíku.

Zamražené vzorky byly průběžně zpracovány následujícím způsobem (upraveno dle Velikova *et al*, 2000) . Vzorek byl homogenizován v třecí misce v malém objemu tekutého dusíku na jemný prášek. Ke vzniklému homogenátu se přidalo 5 ml 0,1 % TCA a směs se dále rozetřela. Poté byly 2 ml homogenátu odebrány do předem připravených vychlazených Eppendorf zkumavek o objemu 2 ml a centrifugovány při 12 000x g, 4 °C po dobu 20 minut. 0,5 ml supernatantu bylo odebráno do předem připravených Eppendorf zkumavek obsahujících 0,5 ml 10 mM fosfátového pufru (pH 7,0) a 1 ml 1 M jodidu draselného. Roztoky TCA a KI byly připravovány každý den čerstvé. Připravený roztok fosfátového pufru (10 mM KH₂PO₄) byl skladován v lednici. Takto připravené vzorky byly inkubovány po dobu 20 minut ve tmě

a poté byla změřena absorbance při vlnové délce 390 nm, z níž program na základě kalibrační křivky stanovuje výslednou koncentraci peroxidu vodíku. Kalibrační křivku jsem připravil následujícím způsobem. Do zkumavky obsahující 0,1 % roztoku kyseliny trichloroctové jsem přidával 5mM roztok peroxidu vodíku (tab. 5). Vzniklý roztok se promíchal a bylo odebráno 0,5 ml do předem připravených Eppendorf zkumavek obsahujících 0,5 ml 10 mM fosfátového pufru a 1 ml 1 M jodidu draselného. (opakoval se stejný postup jako se vzorky)

Tabulka 5: Hodnoty koncentrace a objemu roztoků pro přípravu kalibrační křivky. V_1 - objem roztoku 0,1 % kyseliny trichloroctové a V_2 – objem 5 mM roztok peroxidu vodíku.

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8
Výsledná koncentrace (μM)	6,25	12,5	25	50	75	100	150	200
V_1 (ml)	9,987	9,975	9,95	9,9	9,85	9,8	9,7	9,6
V_2 (μl)	13	25	50	100	150	200	300	400

4.3.4.4. Aktivita katalázy

Způsob odběru, množství a skladování listového pletiva pro stanovení aktivity katalázy byl naprosto shodný jako pro stanovení obsahu peroxidu vodíku.

Zmražený vzorek listového pletiva byl homogenizován v malém objemu tekutého dusíku ve vymražené třecí misce. Po rozetření se sypký homogenát přendal do nevymražené třecí misky, do níž se přidalo 10 ml 0,5 mM EDTA ve fosfátovém pufru o pH 7,5 (složen 0,146g EDTA, směs 6,80g KH_2PO_4 rozpuštěného v 0,5 l destilované vody a 8,71g K_2HPO_4 rozpouštěného v 0,5 l destilované vody o pH 7,5). Vzorky se přefiltrovaly přes několik vrstev gázy do předem vychlazených centrifugačních zkumavek. Centrifugovaly se při 15 000x g při 4 °C po dobu 20 minut. Následně se z centrifugační zkumavky odebralo 1,5 ml supernatantu do Eppendorf zkumavek o objemu 2 ml, které byly uchovány při 4 °C. Pro měření bylo z Eppendorf zkumavek odebráno 50 μl vzorku a přidáno do připravené kyvety obsahující 1,5 fosfátového pufru o pH 7, 0,95 ml destilované vody a nakonec 0,5 ml 75 mM roztoku peroxidu vodíku. Následně byla změřena absorbance při vlnové délce 240 nm v čase 0 s a 60 s. Koncentrace peroxidu vodíku v čase 0 a 60 s byla vypočítána dosazením absorbance do rovnice vyjadřující závislost peroxidu vodíku na absorbanci (tab. 6).

Pro stanovení množství proteinu jsem do zkumavky obsahující 5 ml Bradfordové činidla napipetoval 100 μl vzorku uchovávaného při 4 °C, promíchal na vortexu a nechal inkubovat

po dobu 20 minut při laboratorní teplotě. Následně byla změřena absorbance na spektrofotometru při vlnové délce 595 nm. Množství proteinu bylo poté vypočítáno dosazením absorbance do rovnice závislosti koncentrace proteinu na absorbanci (tab. 7).

Aktivita katalázy se vypočítala jako podíl poklesu koncentrace peroxidu vodíku (v čase 0 a 60 s) a množství proteinu.

Tabulka 6: Hodnoty koncentrace a objemu roztoků pro přípravu kalibrační křivky pro stanovení koncentrace peroxidu vodíku. V_1 objem reakční směsi obsahující 1,5 ml fosfátového pufru o pH 7 a 0,95 ml destilované vody. V_2 objem 75 mM roztoku peroxidu vodíku.

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8
Výsledná koncentrace (μM)	0	0,6	1,5	2,9	5,7	8,2	10,5	12,7
V_1 (ml)	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
V_2 (μl)	0	20	50	100	200	300	400	500

Tabulka 7: Hodnoty koncentrace a objemu roztoků pro přípravu kalibrační křivky na stanovení množství proteinu. V_1 roztok bredfordova činidla a V_2 objem roztoku 50 mg albuminu ve 100 ml destilované vody.

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Výsledná koncentrace (μM)	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05
V_1 (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
V_2 (μl)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

(Převzato a modifikováno dle Sairam & Srivastava, 2001)

4.3.5. Použité přístroje

Analytické váhy Kern ABJ, Kern Sohn, Německo

Analytické váhy XT 120A, Precisa Gravimetrix, Švýcarsko

Automatický záznamník teploty a vlhkosti Testo 175 T-1, Testo, Česká republika

Gazometrický systém LCI Portable PhotosynthesisSystem, ADC BioScientific Ltd., Velká Británie

Hlubokomrazicí box ULTF 420, Darei Dánsko

Konduktometr GRYF 158, Gryf HB, Havlíčkův Brod, Česká republika

Centrifuga Universal 320, Hettich, Německo

Přenosný fluorometr OS30P, ADC BioScientific, Velká Británie

Přenosný měřič indexu spektrální odrazivosti PlantPen NDVI 300, Photon System Instruments, Česká republika

Přenosný měřič indexu spektrální odrazivosti PlantPen PRI 200, Photon System Instruments, Česká republika

Mikrováhy Sartorius 4401, Sartorius, Německo

Spektrofotometr Anthelie Advanced 2, Secoman, Francie

Spektrofotometr Termoblok Ultimate Dry Bath Incubator, Major science, USA

ThermoFisher Evulotion 201, ThermoFisher Scientific, USA

Váhy Kern ABS, Unipro-alpha c.s., Česká republika

Vlhkoměr GG moisture metr, Delta-T devices Velká Británie

4.3.6. Použité chemikálie

Brilliant Blue G, Sigma-Aldrich, USA

Butylovaný hydroxytoluen, BHT, AppliChem, Německo

Dihydrogenfosforečnan draselný, Sigma-Aldrich, USA

Dimethylformamid čistý, Lach Ner s.r.o., Česká republika

Etanol, EtOH, Lach-Ner s.r.o., Česká republika

Hydrogenfosforečnan draselný, Sigma-Aldrich, USA

Iodid draselný, Lach-Ner s.r.o., Česká republika

Kyselina ethylendiamintetraoctová, EDTA, Serva Feinbiochemica GmbH & Co, Německo

Kyselina thiobarbiturová, TBA, Sigma-Aldrich, USA

Kyselina trihydrogenfosforečná, Sigma-Aldrich, USA

Kyselina trichloroctová, Sigma-Aldrich, USA

Peroxid vodíku 30 %, Sigma-Aldrich, USA

4.1.1. Statistické vyhodnocení výsledků

Ve výjimečných případech jsem nejprve ze získaných dat odstranil odlehlé hodnoty. Aby mohlo dojít k jejich nalezení, musel být dostatečný počet opakování, jednalo se o 5 biologických opakování daného parametru. Přítomnost odlehlých hodnot se testovala u všech studovaných parametrů, s výjimkou morfologických. Odlehlé hodnoty jsem získal pomocí výpočtu mezikvartilového rozpětí, které se vypočítalo podle vzorce:

$$MK = Q3 - Q1$$

MK = mezikvartilové rozpětí

Q3 = horní kvartil

Q1 = dolní kvartil

Z mezikvartilového rozpětí se následně vypočítaly hranice pro odlehlé hodnoty podle vzorců:

$$HH = Q3 + MK \times 1,5$$

$$DH = Q1 - MK \times 1,5$$

HH = horní hranice pro odlehlé hodnoty

DH = dolní hranice pro odlehlé hodnoty

Po odstranění případných odlehlých hodnot jsem takto získané výsledky nejprve vyhodnocoval pomocí analýzy variance (ANOVA) dvojného třídění s interakcemi. Cílem bylo zjistit, zda jsou průkazné rozdíly mezi genotypy nebo způsobem pěstování a interakce mezi těmito dvěma faktory. Důležitým předpokladem použití analýzy rozptylu je, že nezávislé výběry pocházejí z normálního rozdělení se stejným rozptylem. Pro toto ověření jsem použil Bartlettův test. Hypotéza o shodnosti rozptylů byla zamítnuta při p -hodnotě Bartlettova testu menší než 0,05. V takových případech jsem provedl logaritmickou transformaci dat, transformovaná data jsem znovu podrobil Bartlettovu testu a následně zhodnotil ANOVA dvojného třídění s interakcemi. Výsledky těchto analýz jsou shrnuty v tab. 8-11 v kapitole 5.5.

Pro následnou detailní analýzu rozdílů jsem se zaměřil již pouze na parametry, u nichž ANOVA dvojného třídění ukázala průkazné rozdíly mezi genotypy nebo způsobem pěstování nebo interakce mezi těmito dvěma faktory. Při detekci rozdílů mezi genotypy jsem použil jednoduchou analýzu variance odděleně pro rostliny pěstované v kontrolních a stresových

podmínkách a po obnově v obou pokusných sériích. Ta byla následována Tukey-Kramerovým testem mnohonásobného srovnání. I zde jsem nejprve provedl ověření shody rozptylů Bartlettovým testem, v případě, že tento test vyšel průkazný, data jsem logaritmicky transformoval. V případě zamítnutí hypotézy o shodě rozptylů i po logaritmické transformaci jsem data zhodnotil pomocí Welch ANOVA a místo Tukey-Kramerova testu jsem použil s Games-Howellův test. Výsledky těchto analýz jsou shrnuty v tab. 12-19 v kapitole 5.5. Při detekci rozdílů mezi způsobem pěstování jsem postupoval obdobně, v tomto případě uvádím již rovnou výsledky Tukey-Kramerovým nebo Games-Howellových testů (tab. 20-23 v kapitole 5.5)

Vztahy mezi jednotlivými parametry byly hodnoceny pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Jako vstupní data sloužily průměrné hodnoty jednotlivých parametrů daných genotypů a konkrétních způsobů pěstování.

U všech statistických analýz jsem použil jako kritickou hladinu významnosti 5 % ($p=0,05$) Data jsem hodnotil pomocí programu CoStat (CoHort Software Monterey 1998-2003, USA). V případě Welchovy ANOVA a Games-Howellova testu jsem použil výpočtový soubor na <http://www.biostathandbook.com/onewayanova.html#welch>.

5. Výsledky

5.1.1. Morfologické parametry

Rostliny, které byly vystaveny hypoxickému stresu, vykazovaly nižší hodnoty biomasy nadzemní části i kořenů oproti kontrolním rostlinám. Reciproci kříženci dosahovali větší hmotnosti oproti rodičovským genotypům 2023 a CE704. Linie CE704 dosahovala menšího nárůstu biomasy a celkové hmotnosti rostliny oproti linii 2023 (obr. 5, 7-9). Velmi podobné výsledky jsem zjistil i pro plochu pokusného listu (obr. 10), celkovou plochu všech fotosyntetizujících listů (obr. 11) a výšku rostliny (obr. 12), u kontrolních i stresovaných rostlin, s výjimkou čerstvé hmotnosti biomasy kořenů u rostlin vystavených stresu ve stáří 18 dní. U těchto rostlin dosahoval genotyp CE704 vyšší hmotnosti oproti linii 2023 u kontrolních i stresovaných rostlin (obr. 6). S rostoucím stářím rostlin, ve kterém byly vystaveny zaplavení, byly tyto rozdíly většinou výraznější. Pouze u výšky rostlin dosahuje rodičovská linie 2023 hodnot obou kříženců (obr. 12).

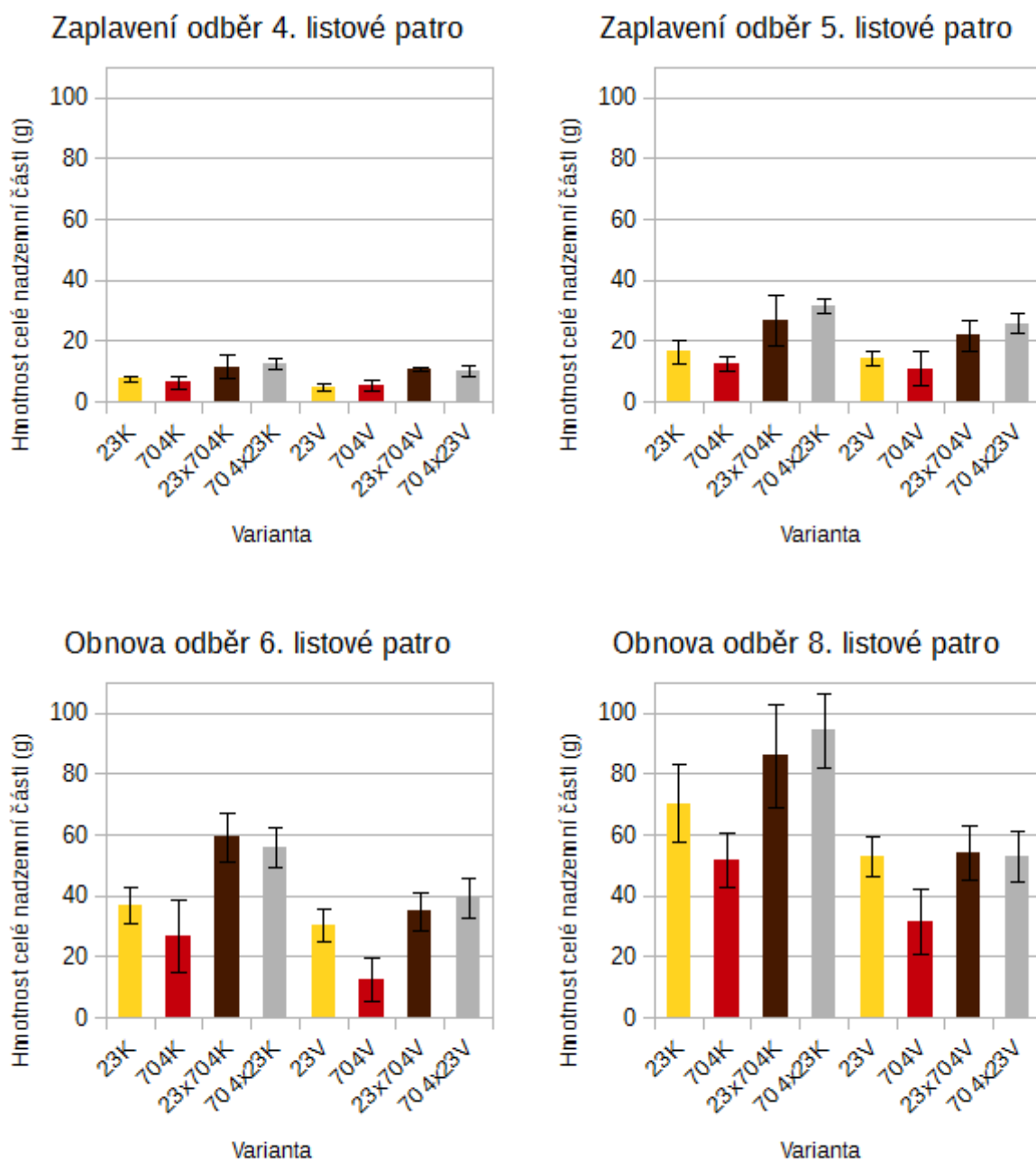
Rostliny, které byly vystaveny hypoxickému stresu, měly pomalejší vývoj oproti kontrolním rostlinám. Nejrychleji se v optimálních i hypoxických podmínkách pěstování vyvíjela linie CE704. Naopak pro linii 2023 je charakteristický nejpomalejší vývoj (obr. 13).

Po ukončení periody obnovy jsem sledoval podobné výsledky jako během primárního stresu zaplavením, s výjimkou čerstvé hmotnosti biomasy kořenů u rostlin vystavených stresu ve stáří 18 dní. U těchto rostlin dosahoval genotyp CE704 vyšší hmotnosti oproti linii 2023 u kontrolních rostlin (obr. 6). Během obnovy se lépe ze zaplavení vzpamatovávají rodičovské inbrední linie oproti jejich křížencům (obr. 5-12). Podobně jako v případě vystavení rostlin primárnímu stresu zaplavením, tak i v případě návratu do optimálních podmínek dochází s rostoucím stářím rostlin, ve kterém byly vystaveny stresu, k prohlubování rozdílů mezi jednotlivými genotypy (obr. 5-15).

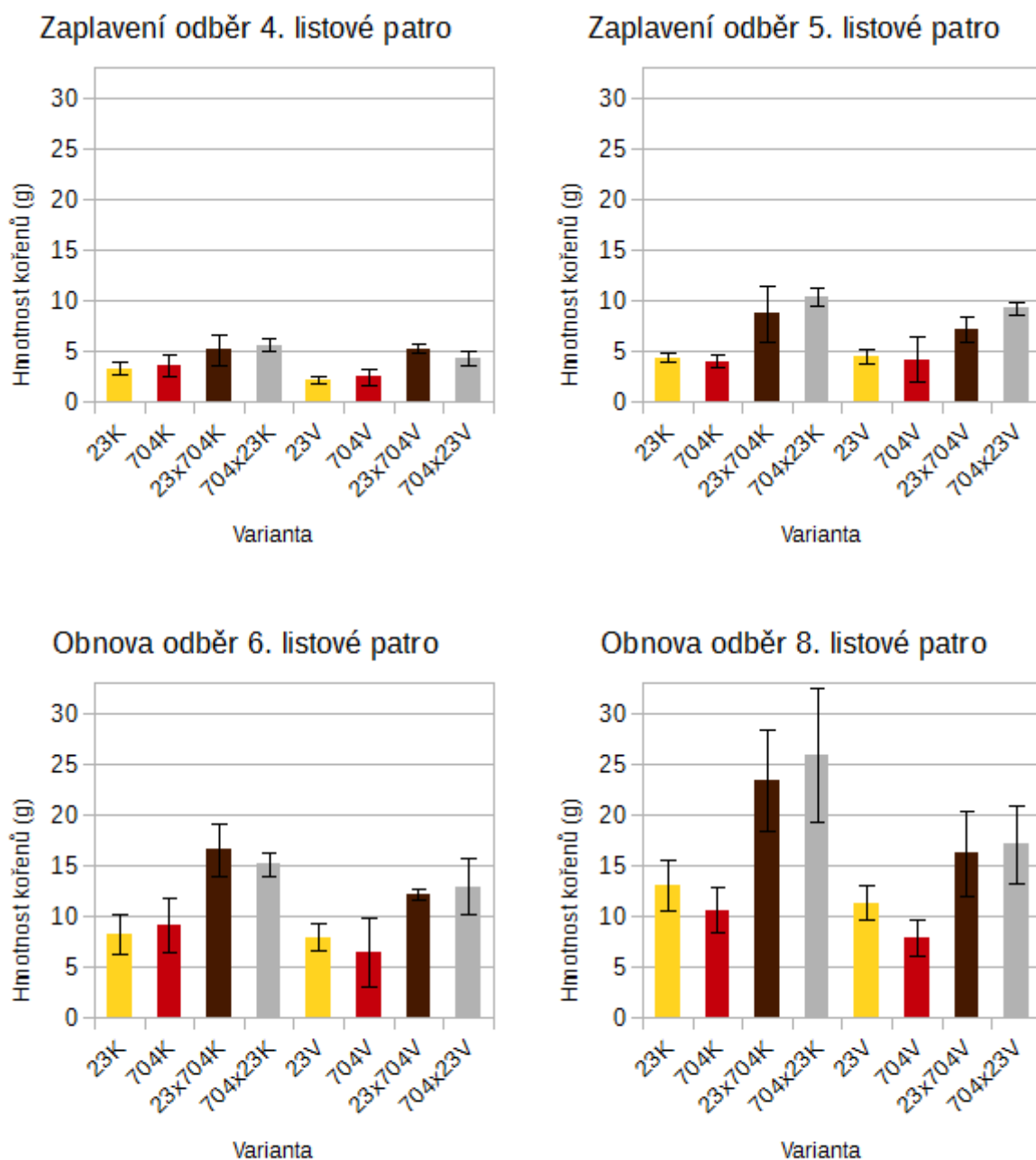
Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u téměř všech parametrů s výjimkou výšky rostlin k poslednímu plně vyvinutému listu u rostlin série II s následnou obnovou (tab. 11). U těchto sérií byly následnou ANOVOU jednoduchého třídění zjištěny průkazné rozdíly mezi konkrétními genotypy (tab. 16-19).

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly dále rovněž průkazné interakce mezi pěstováním a genotypy (tab. 16-19). V těchto případech následná ANOVA jednoduchého třídění ukázala rozdíly mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 20-23).

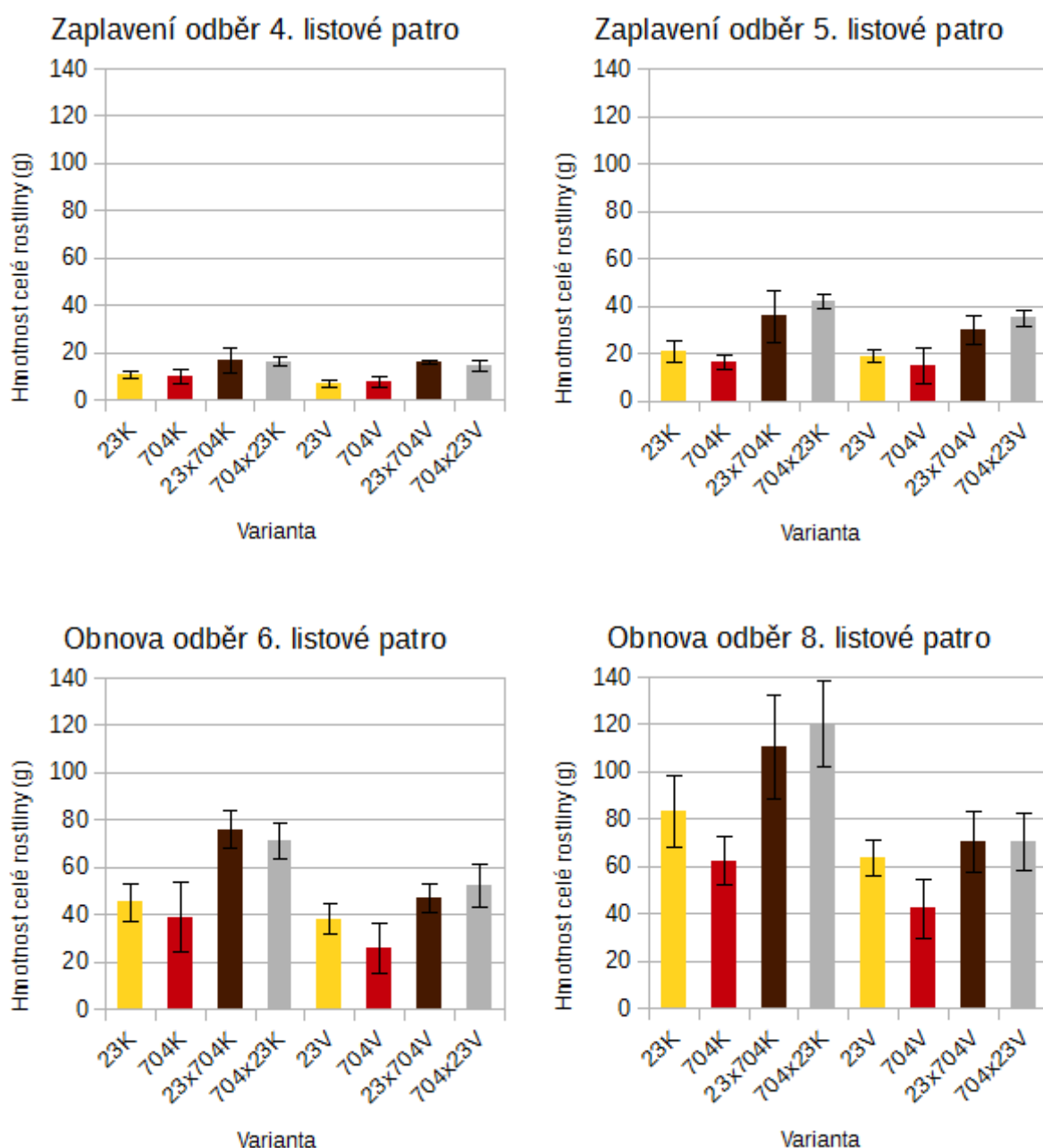
Obr. 5: Hodnoty hmotnosti čerstvé biomasy celé nadzemní části rostliny dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



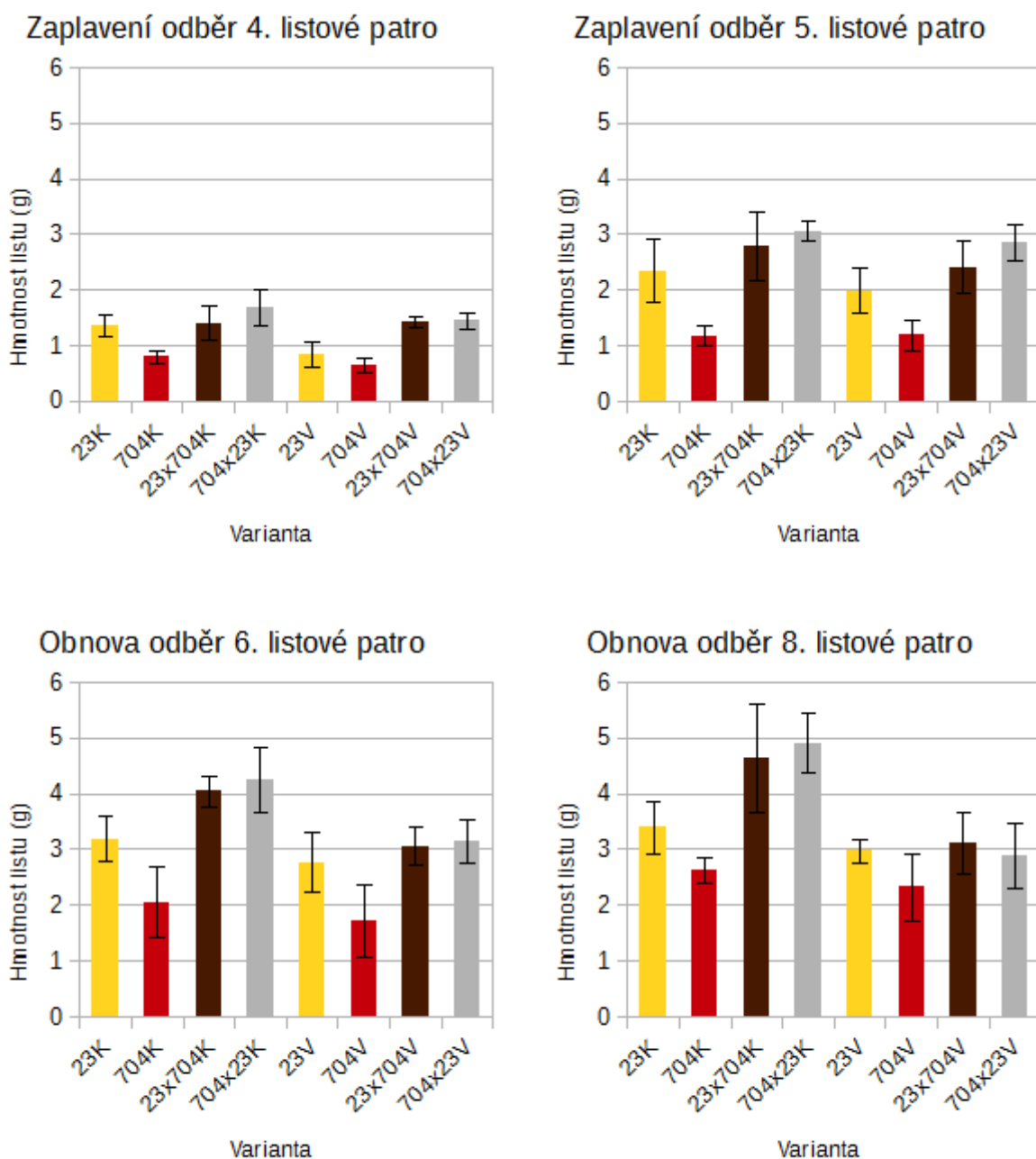
Obr. 6: Hodnoty hmotnosti čerstvé biomasy kořenů dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



Obr. 7: Hodnoty hmotnosti čerstvé biomasy celé rostliny dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)

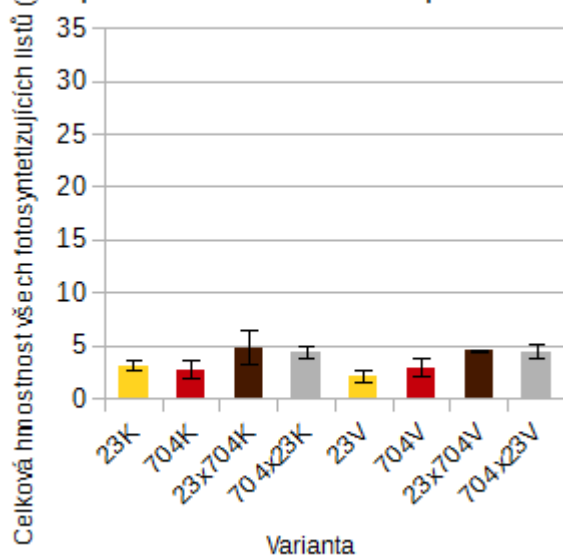


Obr. 8: Hodnoty hmotnosti čerstvé biomasy listů dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)

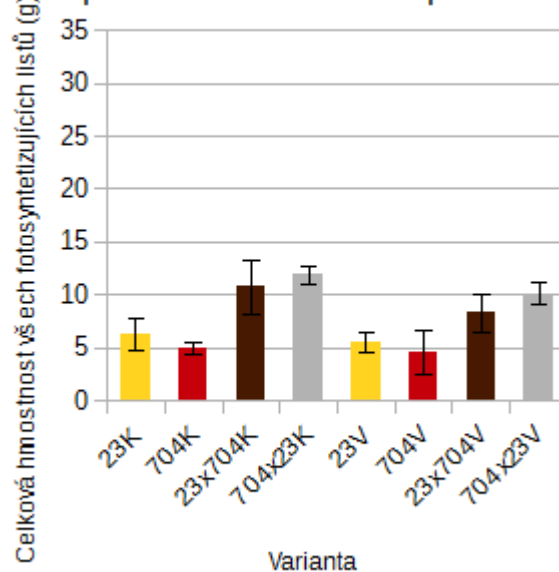


Obr. 9: Hodnoty celkové hmotnosti čerstvé biomasy všech fotosyntetizujících listů dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)

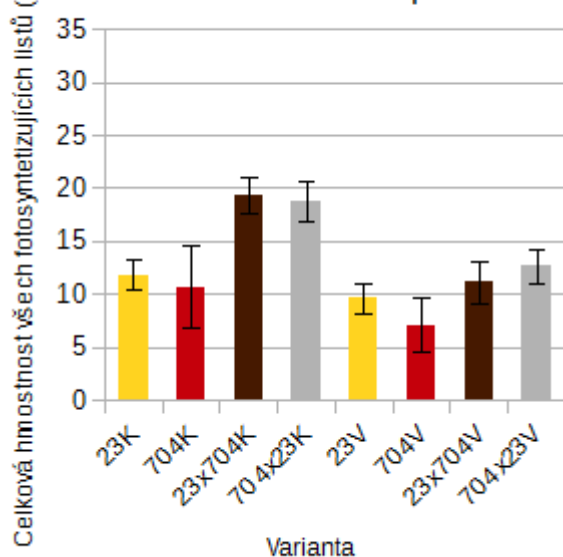
Zaplavení odběr 4. listové patro



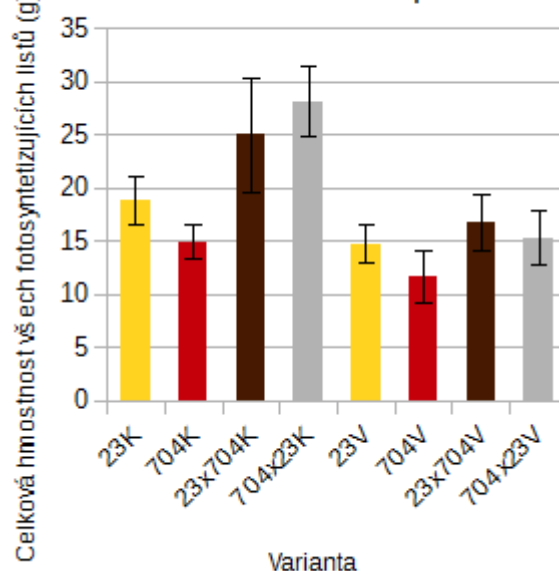
Zaplavení odběr 5. listové patro



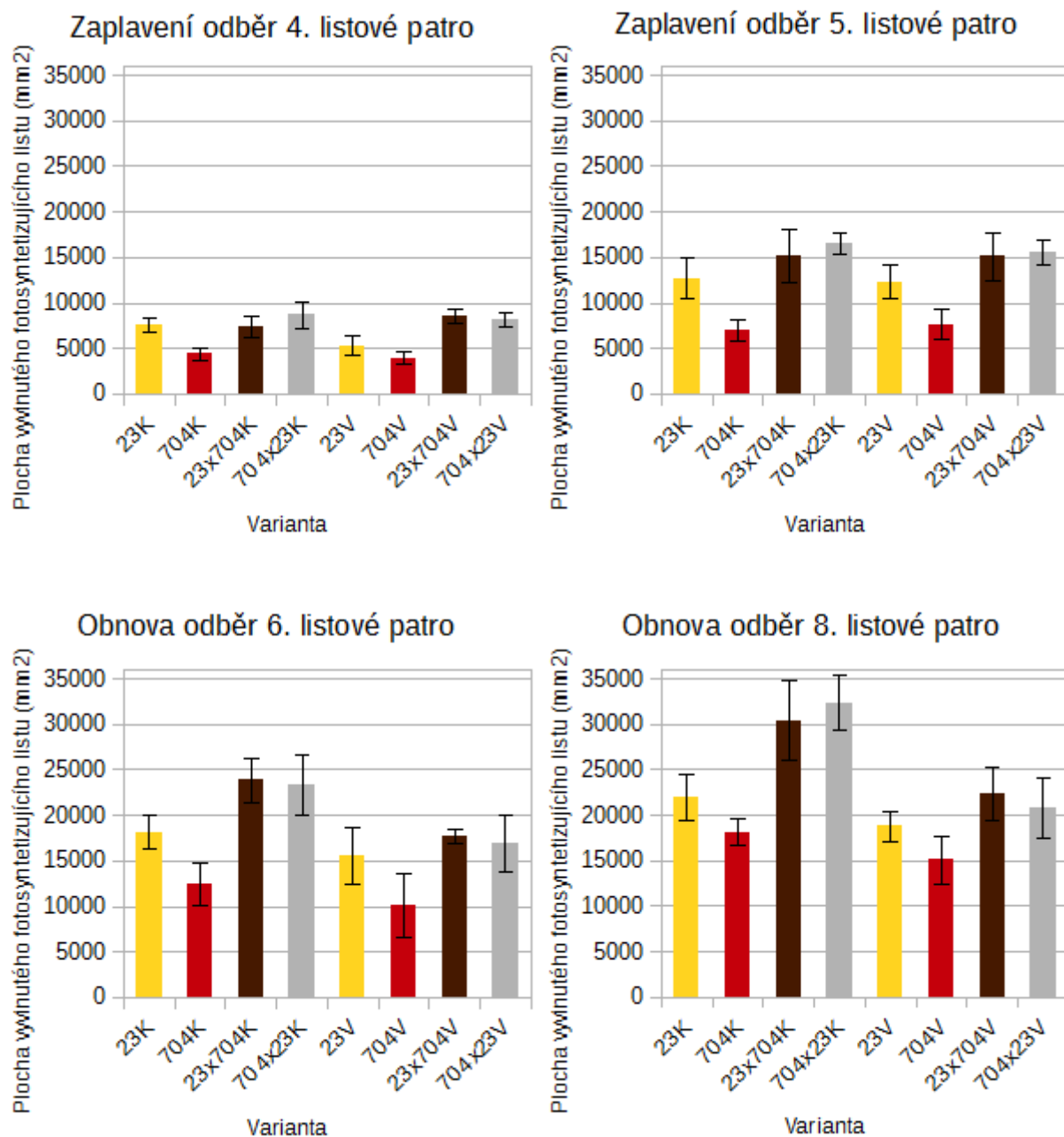
Obnova odběr 6. listové patro



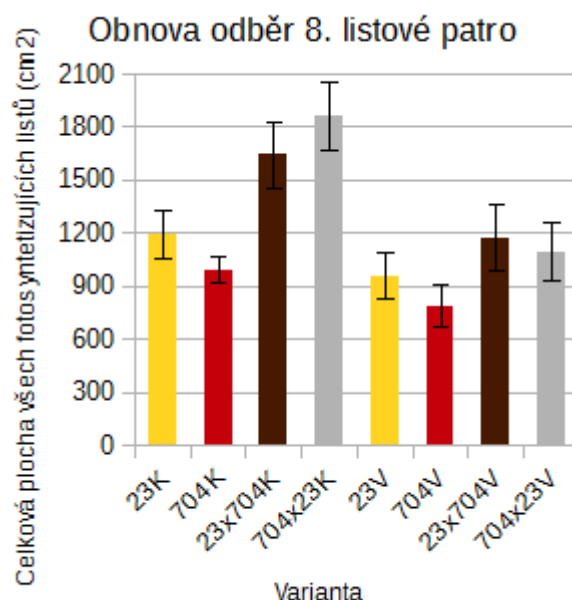
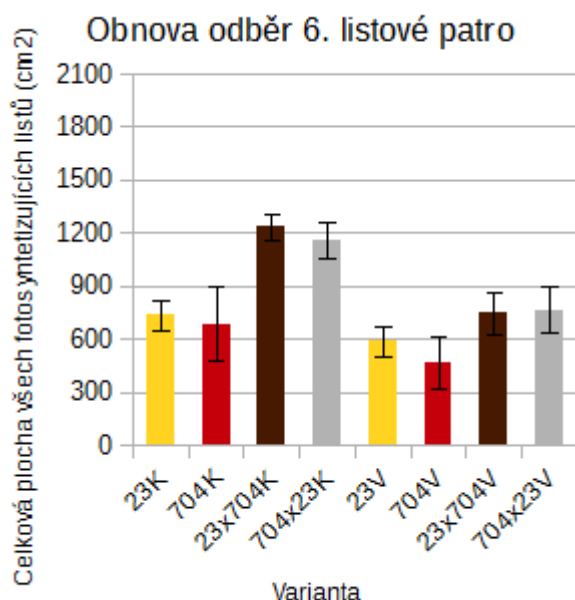
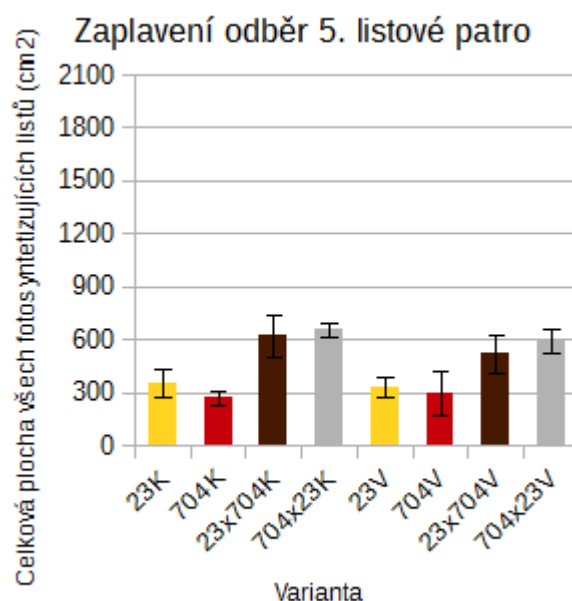
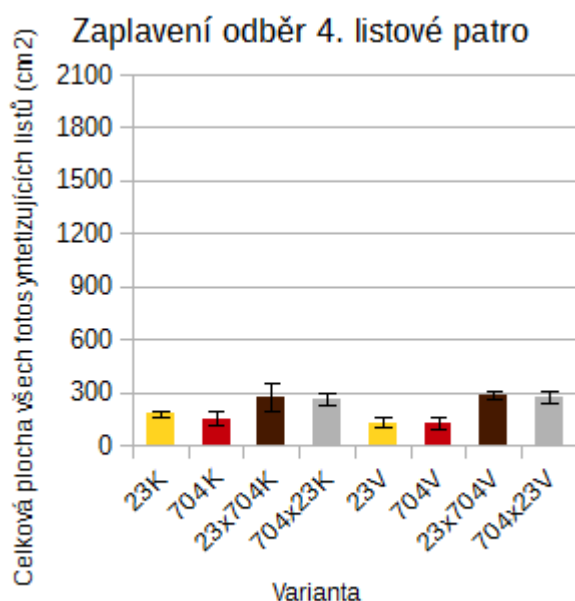
Obnova odběr 8. listové patro



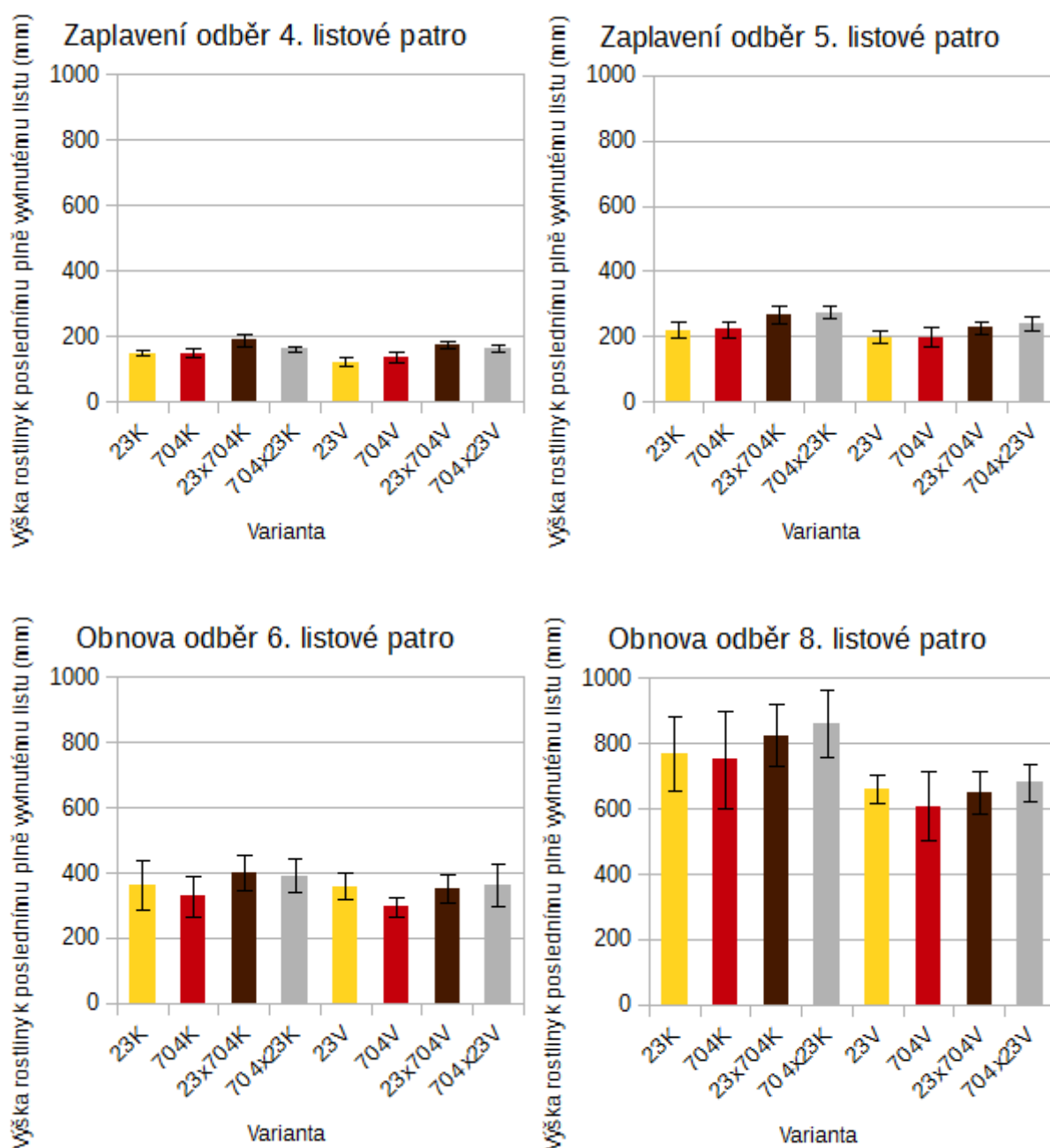
Obr. 10. Hodnoty plochy listové čepele dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



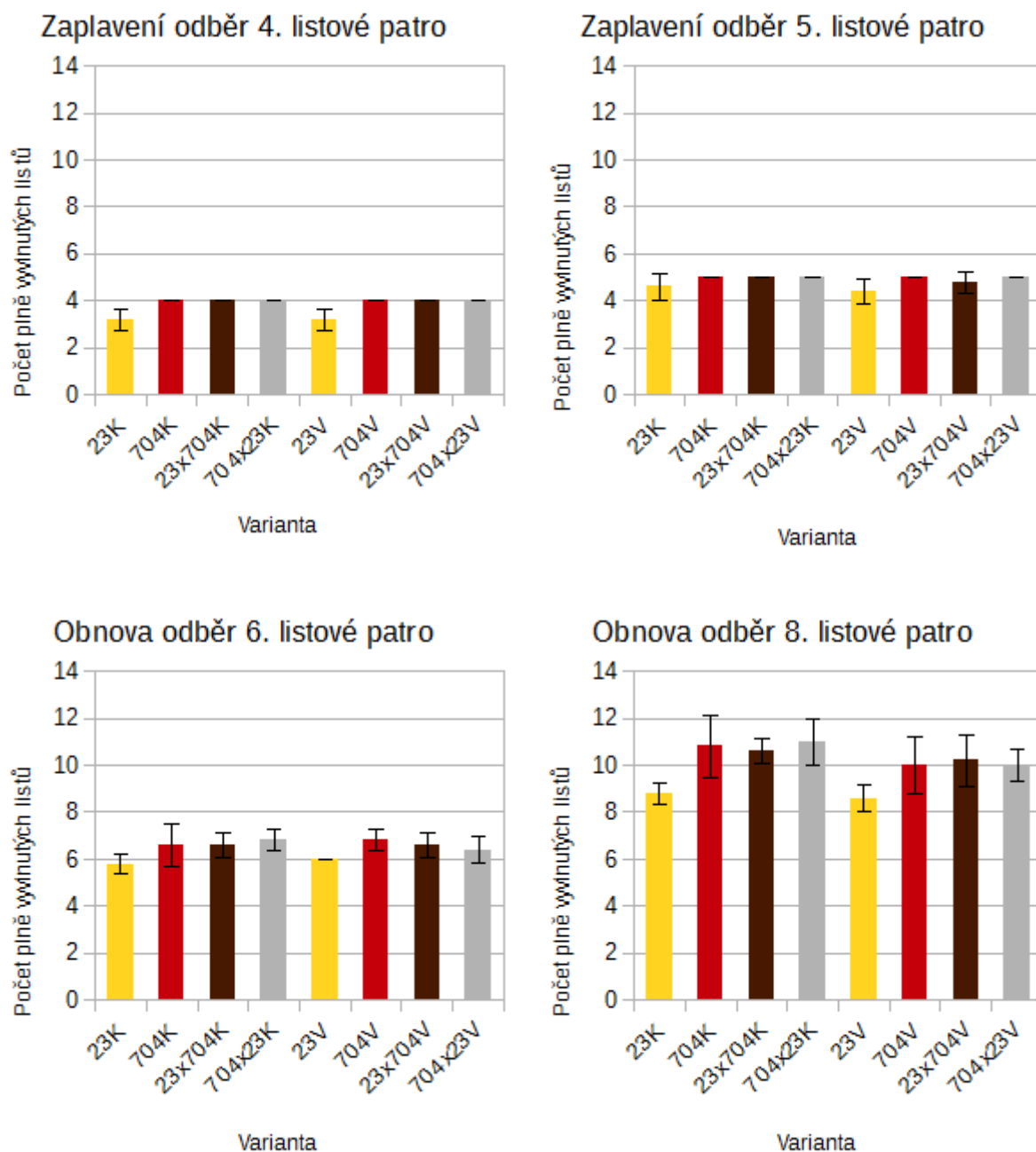
11: Hodnoty celkové plochy všech fotosyntetizujících listů dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



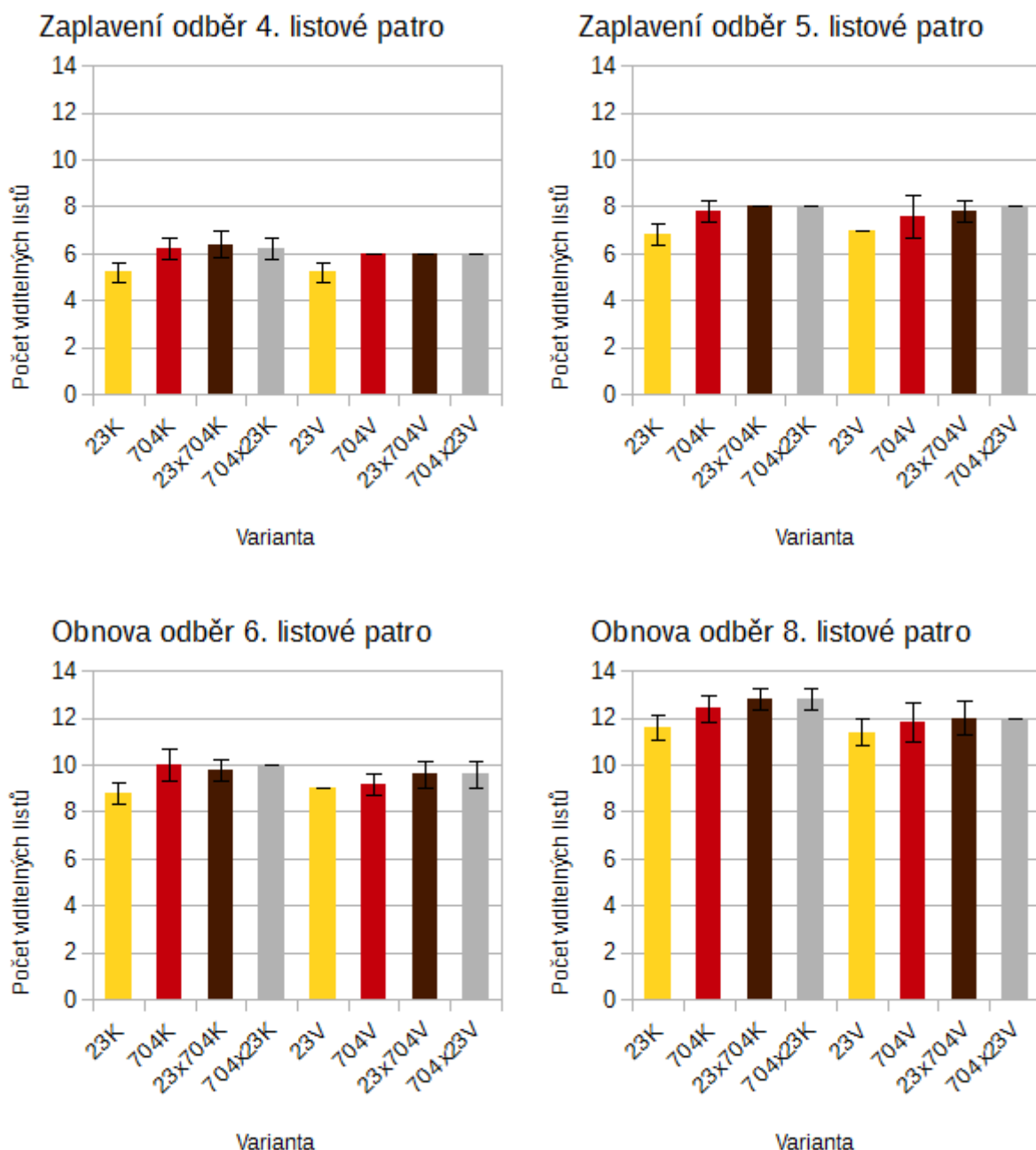
Obr. 12: Hodnoty výšky rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



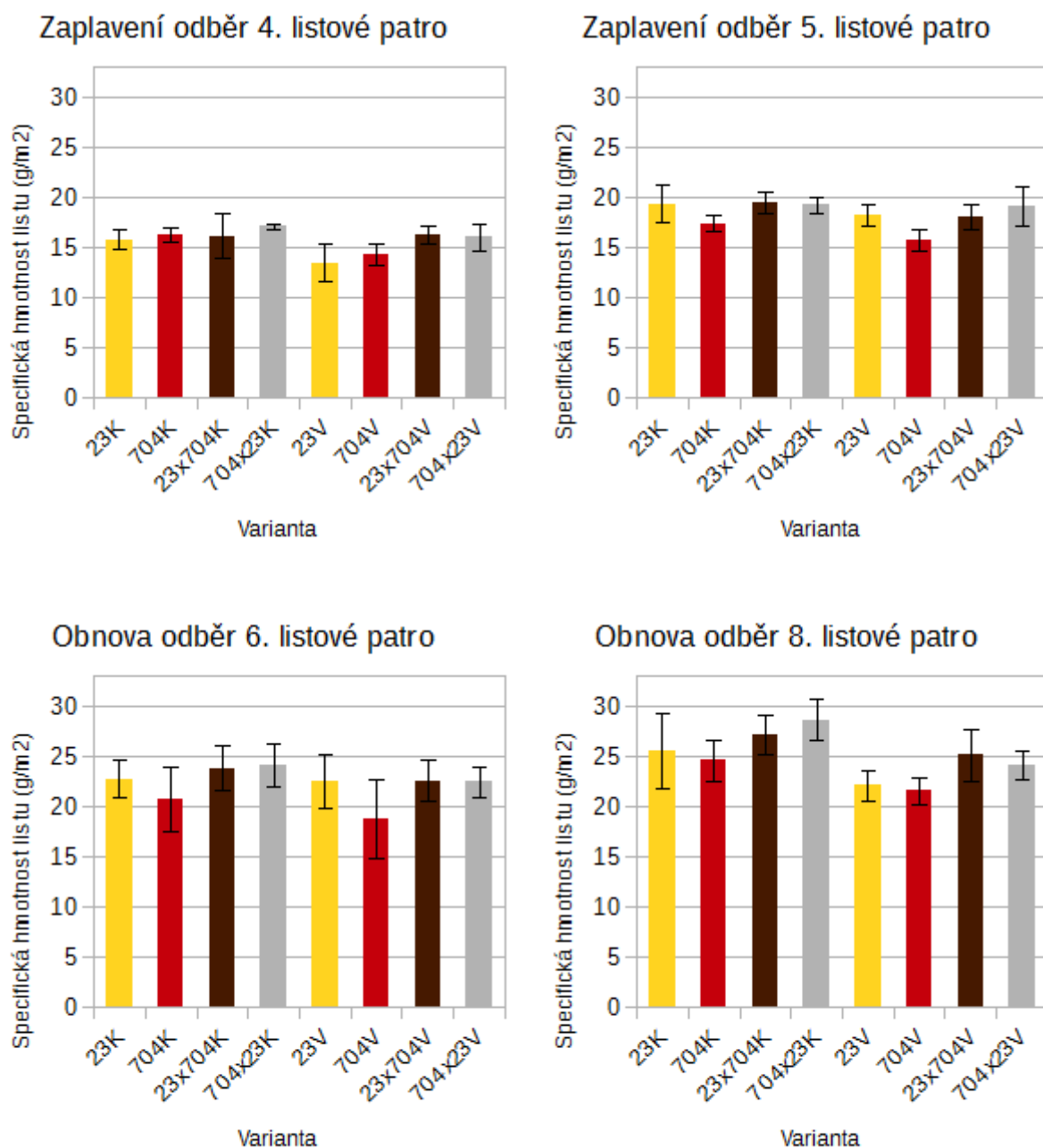
Obr. 13: Počet plně vyvinutých listů dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



Obr. 14: Počet viditelných listů dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



Obr. 15: Hodnoty specifické hmotnosti listu dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.1.2. Vodní stav rostlin

5.2.1. Rychlost transpirace

Rychlost transpirace se pohybovala v rozmezí (1,50-2,22 mmol/m²s).

Z ANOVA dvojného třídění jsou patrné průkazné rozdíly mezi genotypy u rostlin vystavených stresu ve stáří 18 dní (tab. 8). Následná ANOVA jednoduchého třídění ukázala rozdíly mezi jednotlivými genotypy.

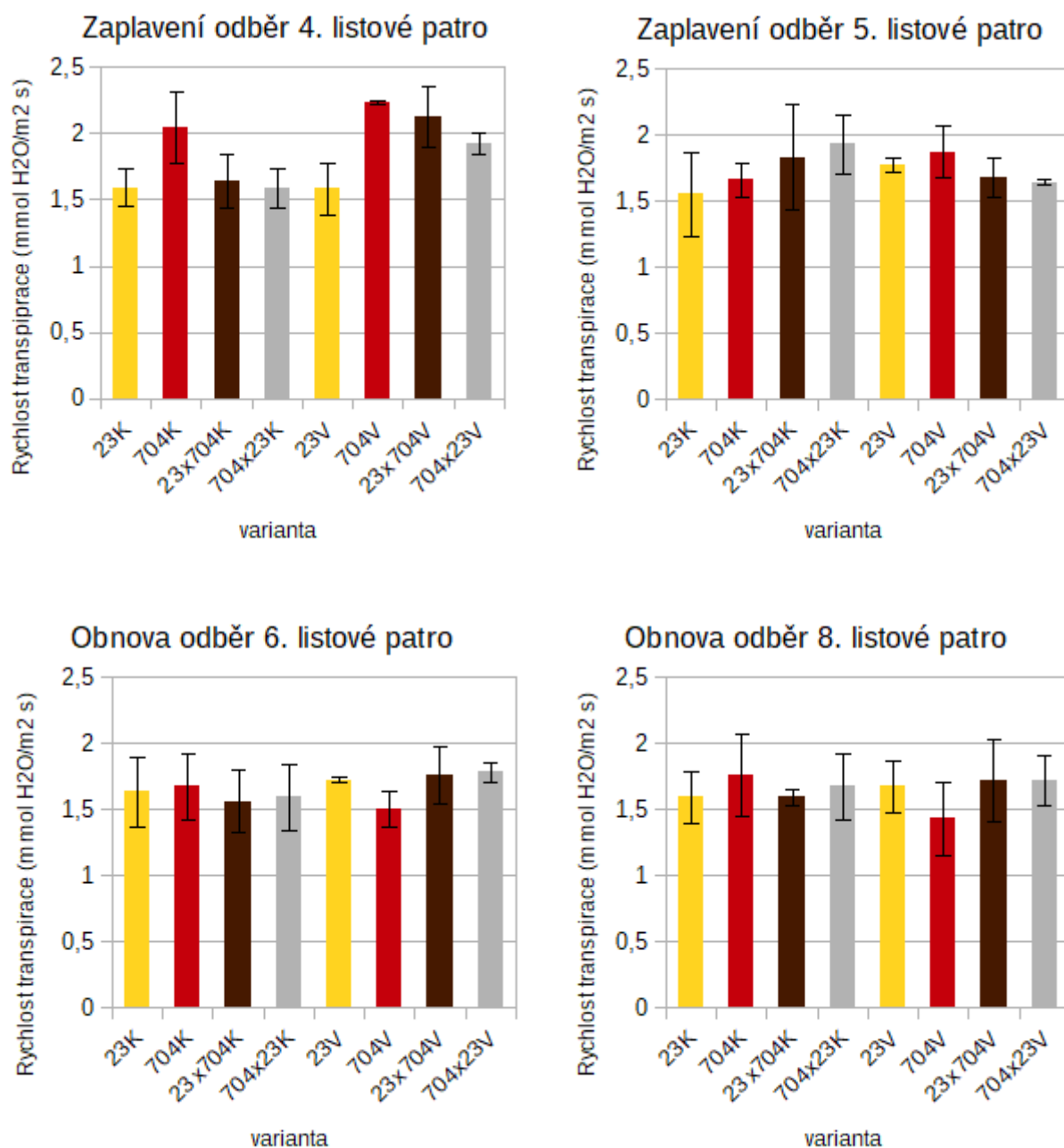
V pokusné sérii I v optimálních podmínkách dosahuje rodičovská linie CE704 průkazně vyšších hodnot, zatímco rodičovská linie 2023 dosahuje průkazně nižších hodnot proti sledovaným genotypům. U rostlin vystavených stresu zaplavením dosahovala rodičovská linie CE704 průkazně vyšších hodnot rychlosti transpirace oproti sledovaným genotypům (tab. 16, obr. 16). U této série byl patrný jasný trend, kdy rodičovská linie CE704 dosahovala vyšších hodnot, a naopak druhá linie 2023 nižších, a to oproti křížencům, u rostlin vystavených stresu i pěstovaných v optimálních podmínkách (obr. 16).

Rostliny série II se chovaly odlišně oproti mladším rostlinám, které byly vystaveny stresu v mladší vývojové fázi. Rodičovské inbrední linie dosahovaly v podmínkách zaplavení vyšších hodnot než odpovídající genotypy pěstované v optimálních podmínkách. Naopak u kříženců zaplavení způsobilo pokles hodnot, kdy největší pokles byl sledován u křížence CE704x2023 (obr. 16). Odlišné chování bylo pozorováno i v kontrolních podmínkách, kde kříženci dosahují vyšších hodnot než rodičovské linie. Uvedené rozdíly nebyly statisticky průkazné.

U rostlin série I s následnou obnovou docházelo u linie CE704 a kříženců k poklesu hodnot, ale v případě kříženců byly tyto hodnoty stále vyšší než u kontrolních rostlin (obr 16).

U rostlin pokusné série II s následnou obnovou docházelo k výraznější změně u stresovaného genotypu CE704, kdy docházelo k poklesu hodnot, pod hodnoty naměřené u kontrolních rostlin oproti podmínkám vystavení stresu.

Obr. 16: Hodnoty rychlosti transpirace měřené u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22).



5.2.2. Vodivost průduchů

Hodnoty vodivosti průduchů se pohybovaly v rozmezí (0,6-0,12mmol/m²s).

S výjimkou linie 2023 byly vyšší hodnoty vodivosti průduchů pozorovány v podmínkách zaplavení u mladších rostlin. Nejvyšší hodnoty vodivosti průduchů byly zjištěny u linie CE704, a to jak u zaplavených, tak kontrolních rostlin. Hodnoty zjištěné u zaplavených rostlin v pozdější fázi vývoje i u obou sérií obnovy byly srovnatelné s hodnotami pozorovanými u kontrolních rostlin (obr. 17).

Z ANOVA dvojného třídění vyplynuly statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy u rostlin vystavených stresu ve stáří 18 dní (série I) (tab.8), které jsem dále statisticky hodnotil pomocí ANOVA jednoduchého třídění (tab. 16). Z ANOVA dvojného třídění taktéž vyplynuly průkazné interakce mezi způsobem pěstování a genotypy u rostlin série II, vystavených zaplavení (tab. 9), a u rostlin série I s následnou obnovou (tab. 10). Následná ANOVA jednoduchého třídění ukázala průkazné rozdíly mezi genotypy a způsobem pěstování u rostlin série II (tab. 21) a rostlin série I s následnou obnovou (tab. 22).

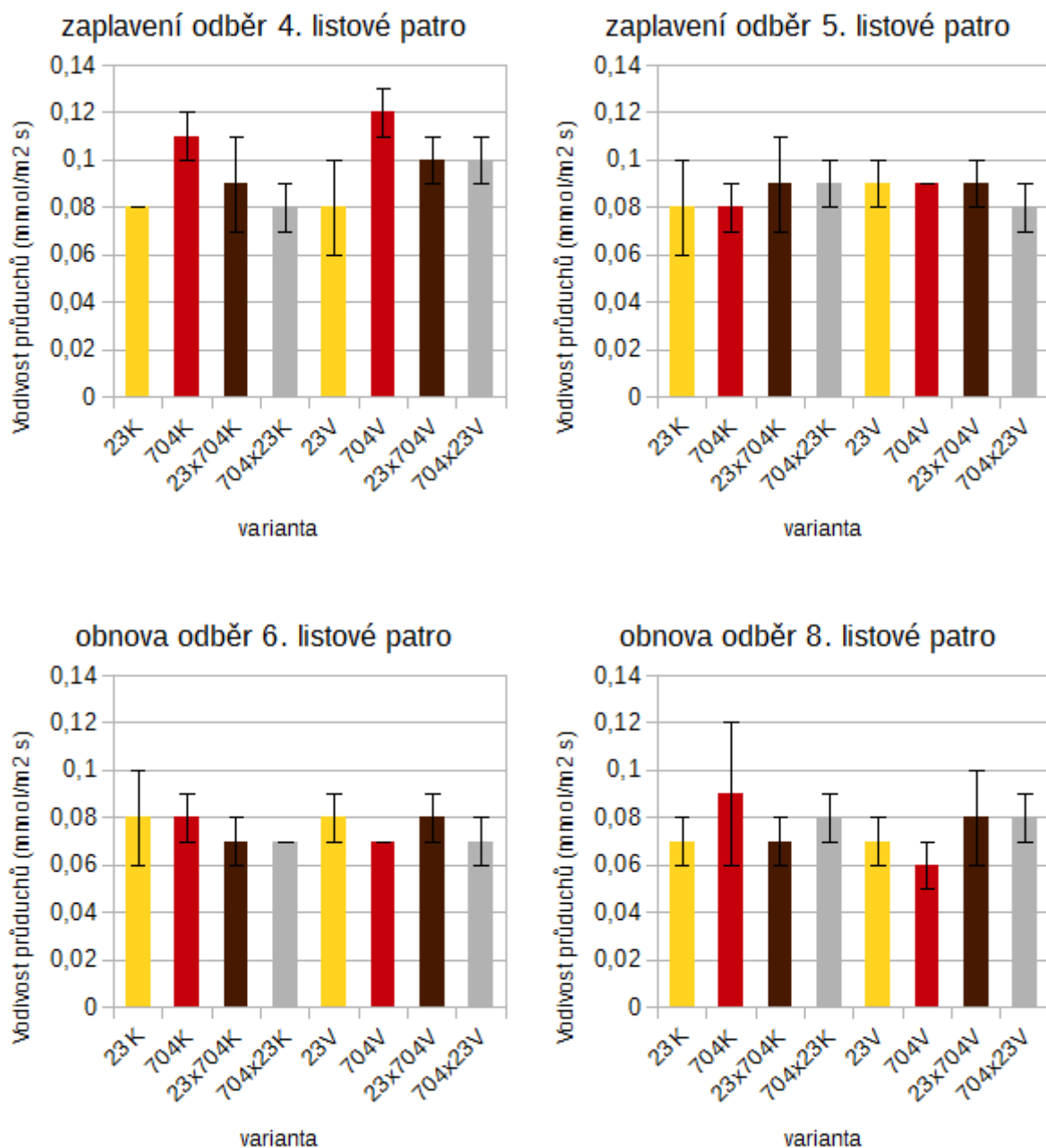
U rostlin série I linie CE704 vykazuje statisticky průkazně vyšší vodivost průduchů ve srovnání s linií 2023 a oběma kříženci u stresovaných i kontrolních rostlin. Nejvyšších hodnot dosahuje v hypoxických podmínkách. Reciproci kříženci vykazují vyšší vodivost průduchů během zaplavení. Rodičovská linie 2023 nevykazovala žádné ovlivnění vodivosti průduchů během zaplavení (tab. 16, obr. 16).

Linie CE704 u rostlin série II dosahovala průkazně vyšších hodnot vodivosti průduchů během zaplavení. Naopak kříženec CE704x2023 dosahoval průkazně nižších hodnot tohoto parametru v podmínkách zaplavení oproti rostlinám pěstovaným v optimálních podmínkách (tab. 21, obr. 16).

U rostlin série I s následnou obnovou linie CE704 dosahovala průkazně nižších hodnot vodivosti průduchů u rostlin, které byly vystaveny stresu zaplavením. Naopak kříženec 2023xCE704 dosahoval průkazně vyšších hodnot tohoto parametru u rostlin, které byly původně vystaveny zaplavení (tab. 22, obr. 16).

Z výsledků je patrné, že zaplavení má vliv na vodivost průduchů u rostlin série I, zatímco v případě zaplavení rostlin série II se rozdíly mezi genotypy částečně stírají.

Obr. 17: Hodnoty vodivosti průduchů měřené u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.2.3. Efektivní využití vody

Hodnoty okamžitého efektivního využití vody se u kukuřice pohybovaly v rozmezí (5,21-8,06 $\mu\text{mol/mol}$). U série I dosahovaly maximálních hodnot kontrolní rostliny. Pokles v důsledku zaplavení byl patrný u rostlin všech genotypů a nebyl u kříženců obnoven (obr. 18)

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy a způsobem pěstování u rostlin série I s následnou obnovou (tab. 10). Z následné ANOVY jednoduchého třídění jsou patrné průkazné rozdíly mezi rodičovskou linií 2023 a oběma kříženci u rostlin, které prošly stresem (tab. 18).

U rostlin, které byly vystaveny stresu zaplavením v nižší vývojové fázi (série I) nebyly rozdíly mezi způsobem pěstování statisticky průkazné (tab. 9), ale z výsledků je patrné, že kontrolní rostliny vykazují vyšší hodnoty efektivního využití vody oproti stresovaným rostlinám. Linie 2023, vystavená stresu má nejnižší hodnoty efektivního využití vody (obr. 18).

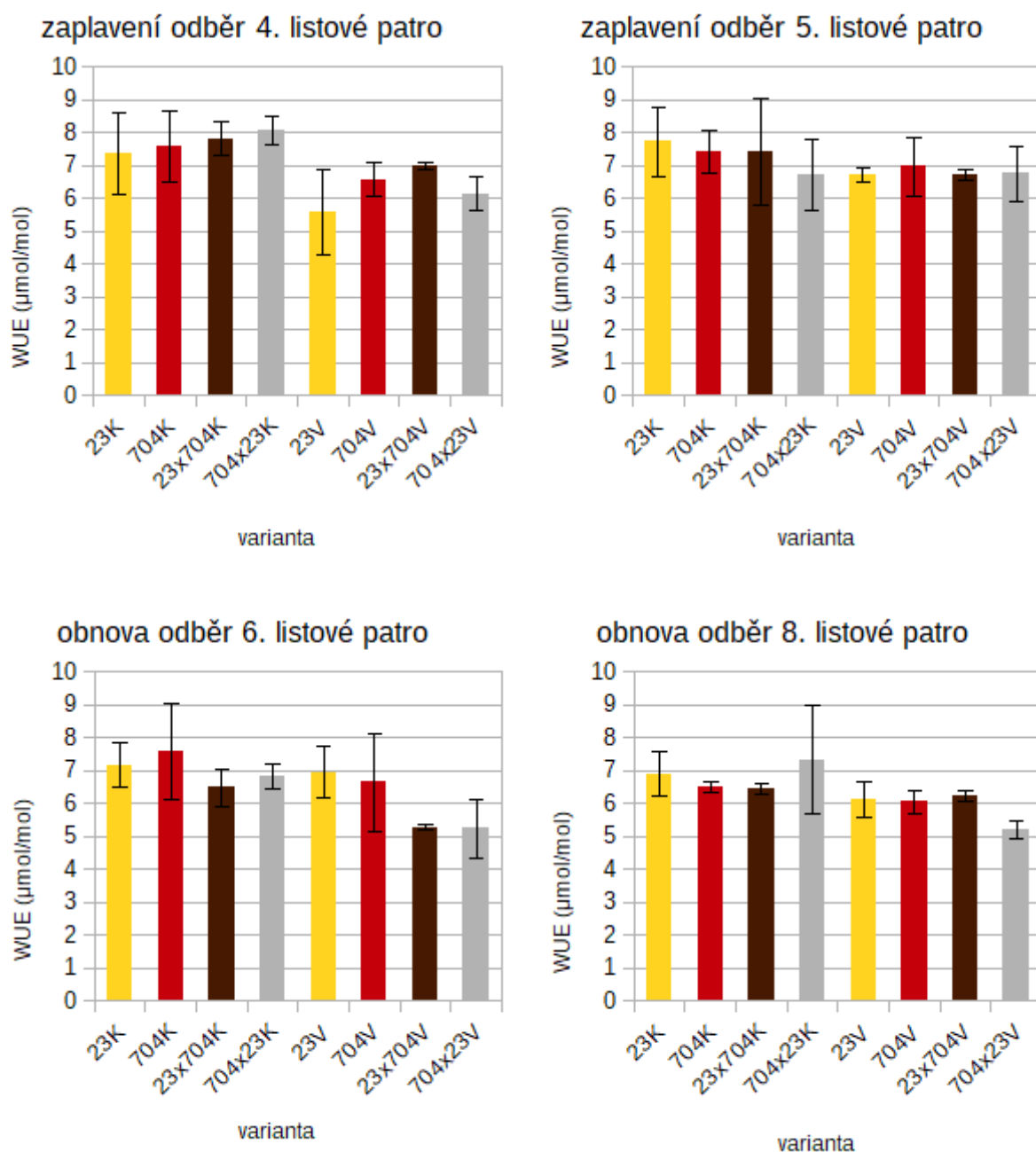
U rostlin, které byly vystaveny stresu v pozdější fázi vývoje (série II) byl sledován pokles hodnot u rodičovských linií 2023 a CE704. Podobný pokles byl zaznamenán i u křížence 2023xCE704 (obr. 18).

U rostlin série I s následnou obnovou docházelo u rodičovských linií k lepšímu vzpamatování oproti křížencům. Největší míra vzpamatování byla zaznamenána u linie 2023 (obr. 18).

Starší rostliny, které prošly zaplavením a návratem do optimálních podmínek, reagovaly částečně podobně jako mladší rostliny. S rostoucím stářím rostlin byl zaznamenán pokles hodnot u kontrolních i stresovaných genotypů s výjimkou křížence CE704x2023 (v optimálních podmínkách), kdy byl sledován nárůst hodnot WUE. Naopak v podmínkách stresu a následné obnovy byl u tohoto křížence zaznamenán nejvýraznější pokles.

Podobné výsledky byly zjištěny i u vnitřního efektivního využití vody (WUE_i), s výjimkou křížence 2023xCE704 u kontrolních rostlin série I s následnou obnovou. Tento kříženec dosahoval stejných hodnot jako inbrední rodičovská linie CE704. Podobný trend nastával i u inbrední rodičovské linie 2023 a reciprokého křížence CE704x2023.

Obr. 18: Hodnoty efektivního využití vody získané výpočtem z vodivosti průduchů a rychlosti transpirace dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.1.3. Fotosyntetické parametry

5.3.1. Rychlost čisté fotosyntézy

Rychlost čisté fotosyntézy se pohybovala v rozmezí (8,62-16,53 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$).

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u rostlin série I (tab. 8) a u rostlin série I s následnou obnovou (tab. 10). U těchto pokusných sérií analýza jednoduchého třídění ukázala průkazné rozdíly mezi jednotlivými genotypy. Průkazné byly v obou sériích i rozdíly mezi způsobem pěstování.

Z ANOVY dvojného třídění také vyplynuly průkazné interakce mezi pěstováním a genotypy u starších rostlin (série II) vystavených zaplavení (tab. 9) a u rostlin série I s následnou obnovou (tab. 10). Následná detailní analýza ukázala statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy a způsobem pěstování.

U rostlin série I dosáhla rodičovská linie CE704 nejvyšších hodnot u kontrolních a stresovaných rostlin. Nejnižších hodnot naopak dosahovala rodičovská linie 2023 vystavená zaplavení. Linie CE704 během zaplavení i v optimálních podmínkách dosahovala průkazně vyšších hodnot tohoto parametru proti linii 2023 a oběma křížencům (tab. 16, obr. 19). U rodičovských linií i kříženců zaplavení vedlo k poklesu hodnot. Tyto rozdíly se v následujících sériích stírají.

U rostlin série II způsobilo zaplavení pokles rychlosti čisté fotosyntézy u kříženců, ale tento pokles není tak výrazný jako u mladších rostlin. Naopak u linie CE704 byl zjištěn velmi mírný nárůst (obr. 19). U kříženců byly zjištěny rozdíly mezi způsobem pěstování, kdy rostliny v kontrolních podmínkách dosahují průkazně vyšší rychlosti fotosyntézy (tab. 21, obr. 19).

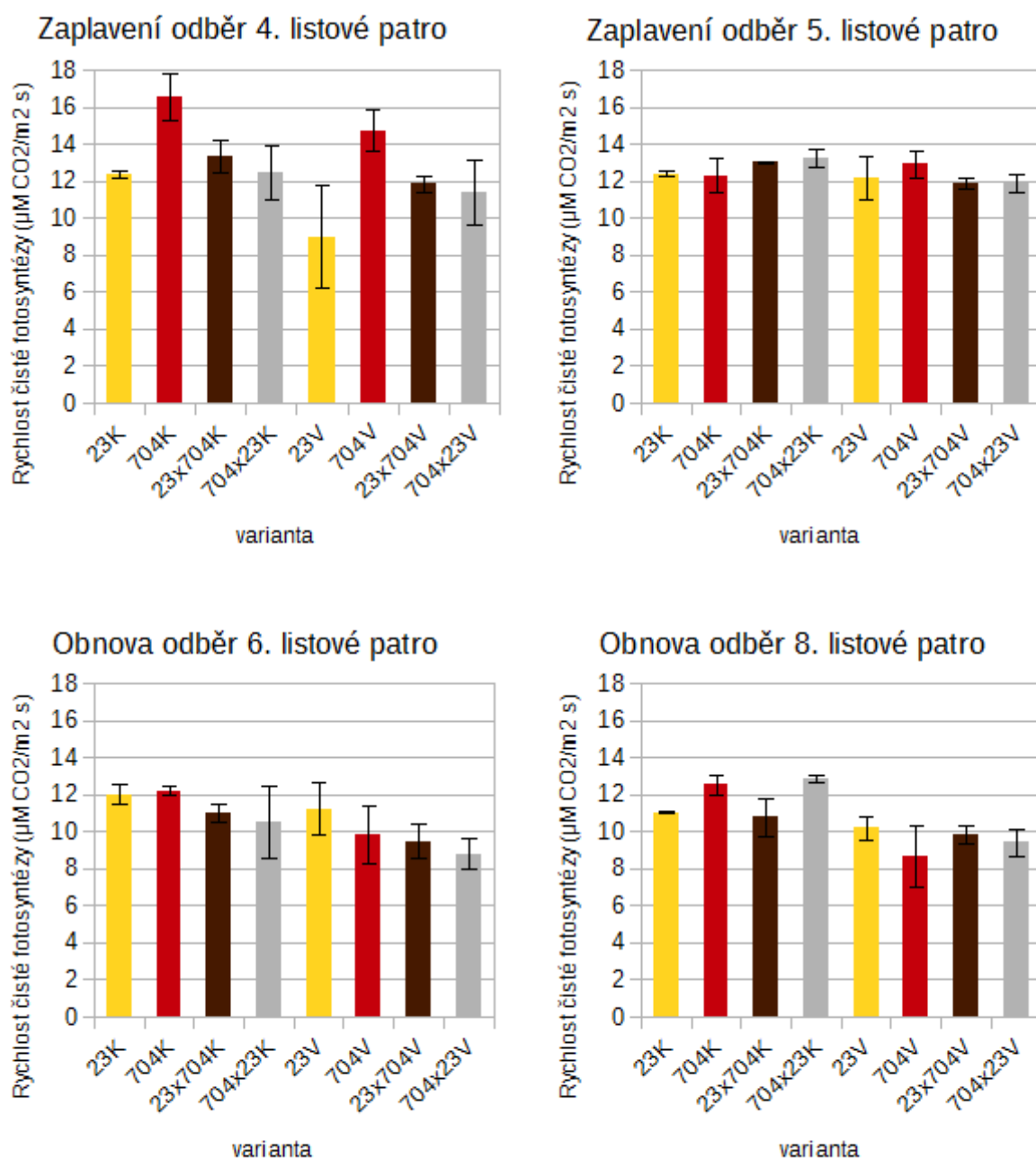
U rostlin série I s následnou obnovou vykazovali nižší rychlost čisté fotosyntézy rodičovská linie CE704 a oba kříženci ve srovnání s rostlinami pěstovanými v optimálních podmínkách. Rostliny linie 2023, které byly vystaveny stresu, dosahovaly statisticky průkazně vyšších hodnot rychlosti čisté fotosyntézy oproti linii CE704 a křížencům. Zároveň rodičovská linie CE704, která byla vystavena stresu, dosahovala statisticky průkazně vyšších hodnot tohoto parametru oproti kříženci CE704x2023, který dosahoval statisticky průkazně nejnižších hodnot (tab. 18, obr. 19).

Podobný trend můžeme sledovat i u rostlin série II s následnou obnovou, s výjimkou stresované linie CE704, která dosahuje nejnižších hodnot. Zároveň u této série byly zjištěny

průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování u rodičovské linie CE704 a křížence CE704x2023, kteří v kontrolních podmínkách dosahovali vyšších hodnot (tab. 23).

S narůstajícím věkem byl u všech genotypů vystavených stresu i pěstovaných v optimálních podmínkách zjištěn pokles hodnot rychlosti čisté fotosyntézy, a to s výjimkou linie 2023, která byla vystavena stresu, ale kde během obnovy docházelo k nárůstu hodnot (obr. 19).

Obr. 19: Hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy měřené u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.3.2. Primární fotosyntetické procesy

Během zaplavení a následné obnovy docházelo ke změnám hodnot řady parametrů týkajících se primární fáze fotosyntézy. Rozdíly byly nalezeny mezi jednotlivými genotypy, což naznačily již výsledky ANOVA dvojného třídění (tab. 8-11) a dále potvrdily výsledky ANOVA jednoduchého třídění (tab. 12-15) i testy mnohonásobného srovnání (tab. 16-19). Průkazné rozdíly byly často i mezi způsoby pěstování (tab. 20-23).

Průkazné rozdíly byly nalezeny mezi genotypy i způsobem pěstování u maximálního kvantového výtěžku fotosystému II (ϕP_0). U rostlin série I byly nalezeny průkazné rozdíly mezi genotypy především v kontrolních podmínkách, kdy linie CE704 dosahovala nižších hodnot tohoto parametru oproti ostatním genotypům. Linie 2023 a kříženec 2023xCE704 se nelišili a kříženec CE704x2023 dosahoval nejvyšších hodnot (tab. 16, obr. 20). Zároveň byly v sérii I zjištěny rozdíly mezi způsobem pěstování, zejména u linie 2023, kdy rostliny pěstované v optimálních podmínkách dosahovaly vyšších hodnot než stresované rostliny (tab. 20, obr. 20). U starších rostlin (série II) byly zjištěny podobné rozdíly mezi genotypy jako v sérii I s výjimkou kříženců, kteří se v kontrolních podmínkách mezi sebou nelišili (tab. 17). U této série byly zjištěny průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování u všech genotypů s výjimkou linie 2023. Rostliny pěstované v optimálních podmínkách dosahovaly vždy vyššího maximálního kvantového výtěžku fotosystému II (tab. 21, obr. 20). Po návratu rostlin série I z podmínek zaplavení (tj. při následné obnově), nenaznačila ANOVA dvojného třídění statisticky průkazné rozdíly (tab. 10). U starších rostlin (série II) byly po návratu do optimálních podmínek, zjištěny rozdíly mezi genotypy jenom u rostlin vystavených stresu. (tab. 19), kdy linie 2023 dosahovala průkazně vyšších hodnot tohoto parametru než ostatní genotypy a linie CE704 dosahovala nižších hodnot, ale mezi reciprokými kříženci nebyly zjištěny průkazné rozdíly.

U kvantového výtěžku toku přenosu elektronů z Q_A na Q_B (ϕE_0) byly nalezeny průkazné rozdíly mezi genotypy jenom u série II (tab. 9), a to u rostlin pěstovaných v kontrolních podmínkách (tab. 13). Linie CE704 dosahovala průkazně vyšších hodnot, naopak linie 2023 dosahovala většinou nižších hodnot v rámci sledovaných genotypů (tab. 17, obr. 21). Po obnově se sledované genotypy mezi sebou v tomto parametru průkazně nelišily (tab. 10, 11). Ani rozdíly mezi způsobem pěstování nebyly výrazné, pouze u série I byl pozorovatelný trend, že zaplavení vede ke zvýšení ϕE_0 (obr. 21)

U kvantového výtěžku toku přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI ($\phi RE0$) byly nalezeny rozdíly mezi genotypy opět jen v některých pokusných sériích (tab. 9, 10). U rostlin série II se mezi sebou průkazně lišily genotypy pěstované v optimálních podmínkách, kdy linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosahovali vyšších hodnot oproti zbylým genotypům (tab. 13, 17, obr. 22). Naopak u rostlin série I, které prošly stresem a obnovou, byly zjištěny rozdíly mezi genotypy u stresovaných rostlin, kde průkazně vyšších hodnot parametru $\phi RE0$ dosahovala linie 2023 (tab. 14, 18, obr. 22).

U rostlin série I bylo z výsledků také patrné, že zaplavení vede ke snížení $\phi RE0$. Podobný trend byl sledován i u rostlin série II (obr. 22). Během následné obnovy bylo u linie 2023 v sérii I pozorováno úplné „vzpamatování se“, ke kterému u zbylých sledovaných genotypů nedocházelo, u série II se dokázal lépe přizpůsobit na návrat do optimálních podmínek kříženec 2023xCE704 (obr. 22, tab. 23).

U parametru kvantového výtěžku disipace přebytečné energie ($\phi D0$) naznačila ANOVA dvojného třídění průkazné rozdíly mezi genotypy a zároveň interakce mezi pěstováním a genotypy u rostlin série I a II (tab. 8, 9, 10). U rostlin série I se lišily genotypy především v kontrolních podmínkách, kdy průkazně vyšších hodnot dosáhly, rodičovské linie oproti křížencům (tab. 16, obr. 23). Stresované rostliny linie 2023 dále v této sérii vykazovaly i vyšší hodnoty $\phi D0$ než rostliny kontrolní (tab. 20, obr. 23). U rostlin série II byly zjištěny obdobné rozdíly mezi genotypy jako u rostlin série I (tab. 17), ale na rozdíl od mladších rostlin zde zaplavení vedlo k průkaznému zvýšení hodnot $\phi D0$ u linie CE704 a kříženců oproti rostlinám pěstovaným v kontrolních podmínkách (tab. 21). U mladších rostlin, které prošly obnovou, se odlišovala především linie 2023, která dosahovala relativně nižších hodnot tohoto parametru než ostatní genotypy, i když rozdíl nebyl statisticky průkazný (obr. 23, tab. 18). U starších rostlin, které prošly obnovou, byly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy jenom u stresovaných rostlin, kdy linie CE704 dosahovala vyšších hodnot $\phi D0$ a linie 2023 nižších hodnot, reciprocí kříženci se mezi sebou nelišili (tab. 19, obr. 23).

U parametru popisujícího účinnost přenosu elektronu zachyceného na PSII z Q_A na Q_B ($\psi 0$) naznačila ANOVA dvojného třídění rozdíly mezi genotypy u všech sérií s výjimkou starších rostlin, které prošly zaplavením i obnovou (tab. 8-11). U rostlin série I šlo především o rozdíly mezi genotypy u rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách, kdy nižších hodnot tohoto parametru dosahovala linie CE704. Naopak kříženci dosahovali vyšších hodnot a mezi sebou se nelišili (tab. 16, obr. 24). Zároveň u této série byly zjištěny rozdíly mezi pěstováním u linie 2023 a u křížence 2023xCE704, kteří dosahovali v kontrolních podmínkách vyšších

hodnot ψ_0 než při vystavení zaplavení (tab. 20, obr. 24). U rostlin série II byly průkazné rozdíly mezi genotypy opět pouze u rostlin, které byly pěstovány v optimálních podmínkách, kdy linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosahovali vyšších hodnot a zároveň linie CE704 dosahovala nižších hodnot v rámci sledovaných genotypů (tab. 17, obr. 24). U mladších rostlin, které prošly obnovou, byly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy naopak pouze u původně stresovaných rostlin. Nižších hodnot dosahovali kříženci a mezi sebou se nelišili. Naopak rodičovská linie 2023 dosahovala vyšších hodnot parametru ψ_0 (tab. 18, obr. 24). U starších rostlin (série II), které prošly obnovou, byl dále zaznamenán neprůkazný trend, kdy původní stres zaplavením vedl k mírnému snížení hodnot tohoto parametru (obr. 24).

V případě parametru popisujícího účinnost přenosu elektronu zachyceného PSII až na koncové akceptory PSI (ψ_{RE0}), ukázala ANOVA dvojného třídění přítomnost průkazných rozdílů mezi genotypy jenom u rostlin série II, které ještě neprošly obnovou (tab. 9). Zároveň tato analýza ale naznačila možnost interakcí mezi genotypy a způsobem pěstování u rostlin, které prošly zaplavením a následnou obnovou (tab. 10, 11). Zaplavení u mladších rostlin (série I) vedlo k neprůkaznému snížení hodnot ψ_{RE0} , toto bylo pozorováno i u rostlin série II (obr. 25). Během následné obnovy se lépe na návrat do optimálních podmínek pěstování dokázala přizpůsobit rodičovská linie 2023 a kříženec 2023xCE704 (u starších rostlin). Linie 2023 vykazovala v optimálních podmínkách série II prokazatelně vyšší hodnoty tohoto parametru oproti ostatním sledovaným genotypům, naopak linie CE704 byla obvykle charakterizována nižšími hodnotami (tab. 17, obr. 25). V některých případech (u rostlin, které prošly obnovou) byly statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování (tab. 22, 23).

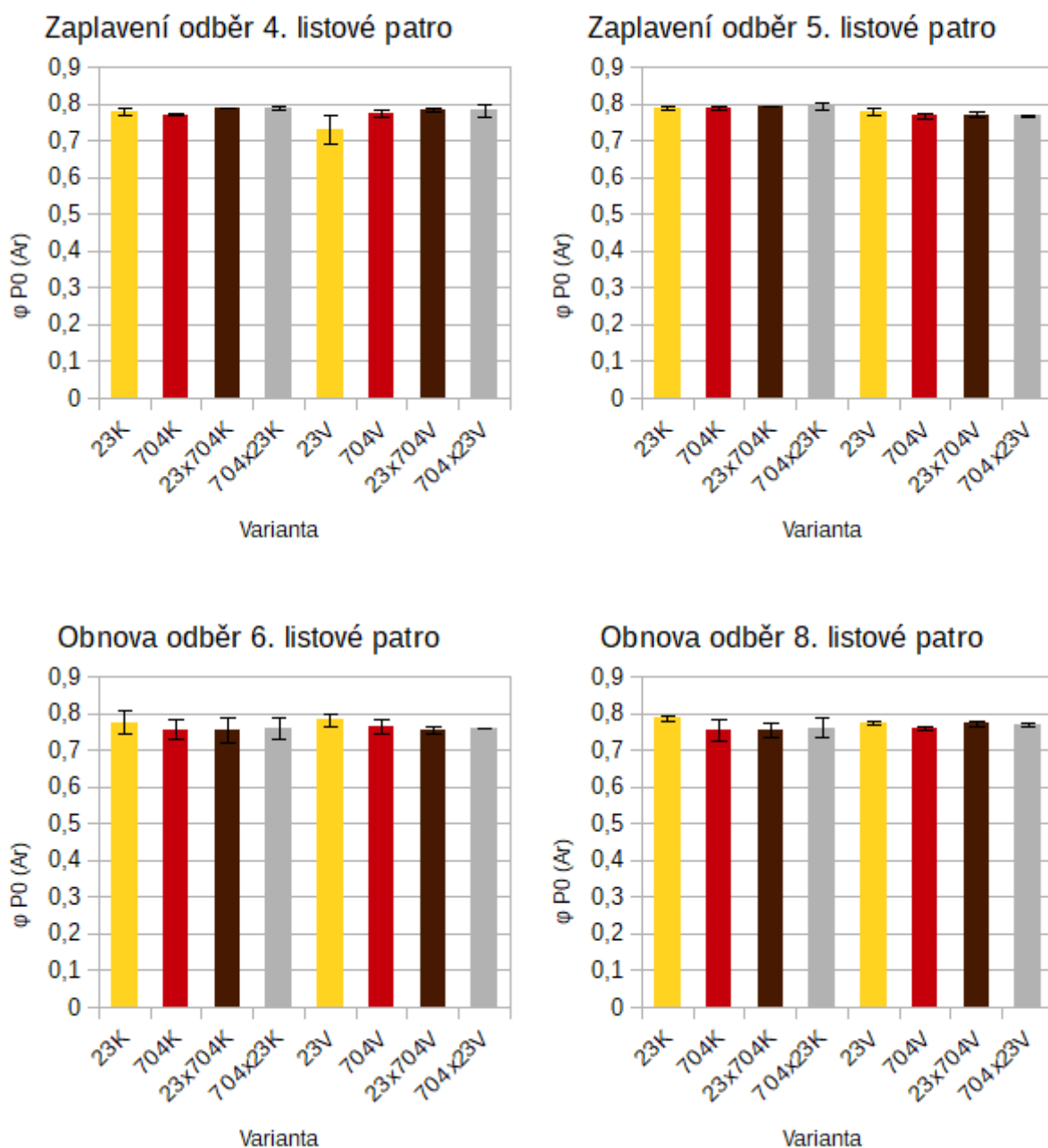
Také u účinnosti se kterou je elektron zachycený PSII přenesený z Q_B až na koncové akceptory PSI (ΔRE_0) naznačila ANOVA dvojného třídění přítomnost průkazných rozdílů mezi genotypy u všech pokusných sérií (tab. 8-10) s výjimkou rostlin série II, které byly vystaveny zaplavení s následnou obnovou (tab. 11). Detailnější analýzy však tyto rozdíly potvrdily především u rostlin série I po obnově (tab. 14-18). V optimálních podmínkách pěstování linie CE704 dosáhla průkazně nižších hodnot, kříženec CE704x2023 naopak vyšších hodnot tohoto parametru. Linie 2023 a kříženec 2023xCE704 se nelišili. U rostlin, které byly původně vystaveny zaplavení, linie CE704 dosahovala průkazně nižších hodnot, naopak linie 2023 dosahovala vyšších hodnot a kříženci se nelišili (tab. 18, obr. 26). Z výsledků se také zdálo, že zaplavení vedlo k (neprůkaznému) poklesu hodnot ΔRE_0 . Během následné obnovy se dokázala lépe přizpůsobit na návrat do optimálních podmínek rodičovská linie 2023 a kříženec 2023xCE704 (obr. 26).

U performančního indexu uchování energie fotonu zachyceného světlosběrnou anténou PSII až po QB (PI ABS) zaplavení vedlo obecně ke snížení PI ABS (obr. 27). Během následné obnovy docházelo k částečnému nebo úplnému vzpamatování (obr. 27). ANOVA dvojného třídění naznačila existenci průkazných rozdílů mezi genotypy u všech pokusných sérií (tab. 8-11) s výjimkou rostlin série I, které byly vystaveny zaplavení s následnou obnovou (tab. 10). Někdy naznačovaly výsledky této analýzy i přítomnost interakcí mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 8). U rostlin série I průkazně nejnižších hodnot tohoto parametru dosahovala v kontrolních podmínkách linie CE704. Naopak nejvyšších hodnot dosahovali oba kříženci, kteří se ale mezi sebou nelišili (tab. 16, obr. 27). U linie 2023 a křížence CE704x2023, byly v této sérii zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování, kdy rostliny pěstované v optimálních podmínkách dosahovaly vyššího performančního indexu než rostliny stresované zaplavením (tab. 20). U rostlin série II detailnější statistická analýza nezjistila průkazné rozdíly mezi genotypy, ale z absolutních hodnot (obr. 27) bylo patrné, že linie CE704 i zde vykazovala nižší hodnoty tohoto parametru. U rostlin série I, které byly vystaveny zaplavení a následné obnově, byl pozorovatelný trend, kdy nejvyšších hodnot dosahovala linie 2023 v optimálních podmínkách i u rostlin původně vystavených stresu. Toto platilo i pro rostliny série II, kdy byly tyto rozdíly většinou i statisticky průkazné (tab. 19).

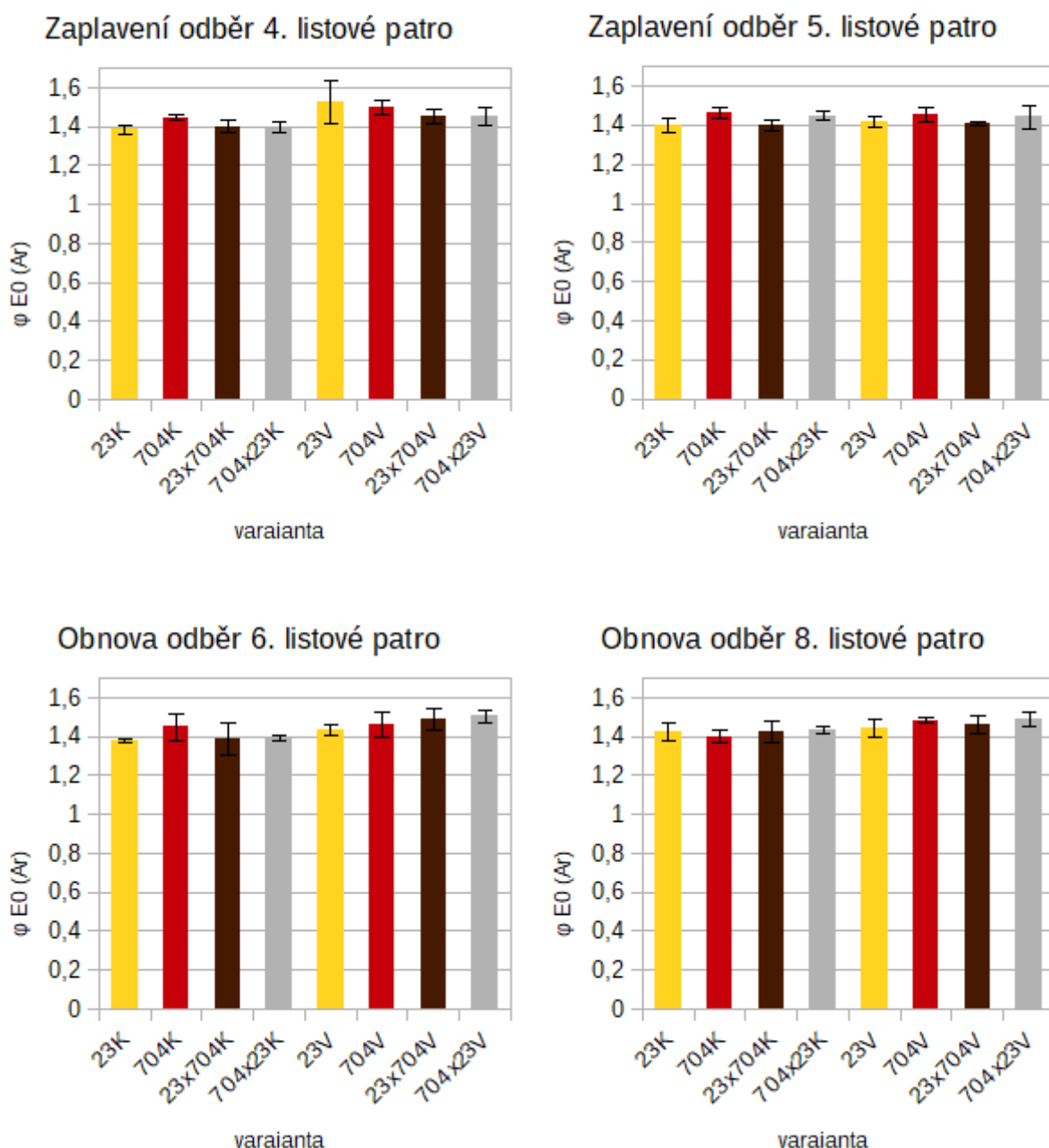
U performančního indexu uchování energie fotonu zachyceného PSII až po koncové akceptory PSI (PI TOTAL) byly výsledky ANOVA dvojného třídění obdobné jako u PI ABS (tab. 8-11). Zaplavení vedlo ke snížení hodnot PI TOTAL (obr. 28). Během následné obnovy docházelo u linie 2023 k plnému vzpamatování se a u rostlin série II k tomuto docházelo i u křížence 2023xCE704. U rostlin série I linie CE704 a kříženec 2023xCE704 dosahovali průkazně vyšších hodnot tohoto parametru než ostatní dva genotypy a mezi sebou se vzájemně nelišili. Naopak linie 2023 dosahovala průkazně nižších hodnot oproti sledovaným genotypům (tab. 16, obr. 28). Zároveň linie 2023 a kříženec CE704x2023 v kontrolních podmínkách dosahovali průkazně vyšších hodnot PI TOTAL oproti rostlinám vystaveným stresu (tab. 20). U rostlin série II dosahovala linie CE704 průkazně nižších hodnot oproti kříženci 2023xCE704. Naopak v kontrolních podmínkách dosahovala linie CE704 ve stresových podmínkách průkazně nižších hodnot oproti linii 2023 a kříženci 2023xCE704 (tab. 17, obr. 28). U rostlin série I, které prošly obnovou, detailní analýza nepotvrdila průkaznost rozdílů mezi jednotlivými genotypy (tab. 18), i když se zdálo, že linie 2023 dosahovala vyšších hodnot u rostlin vystavených stresu a u kontrolních rostlin dosahovala linie CE704 nižších hodnot oproti ostatním genotypům (obr. 28). U starších rostlin (série II), které byly původně vystaveny

zaplavení a následně obnově, linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosahovali průkazně vyšších hodnot než ostatní genotypy a vzájemně se nelišili. Naopak linie CE704 dosahovala průkazně nižších hodnot oproti ostatním genotypům (tab. 19).

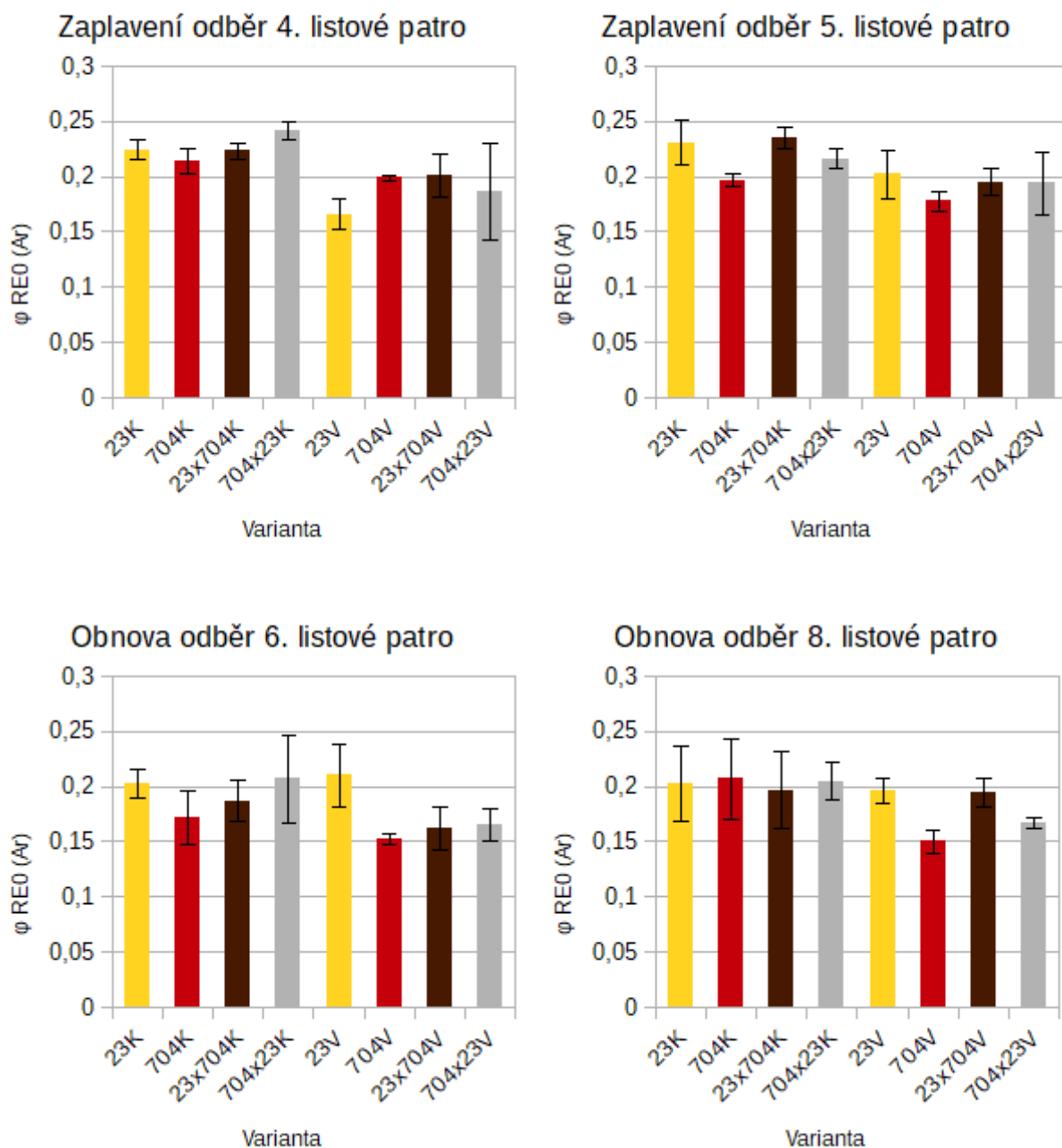
Obr. 20: Hodnoty $\phi P0$ dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



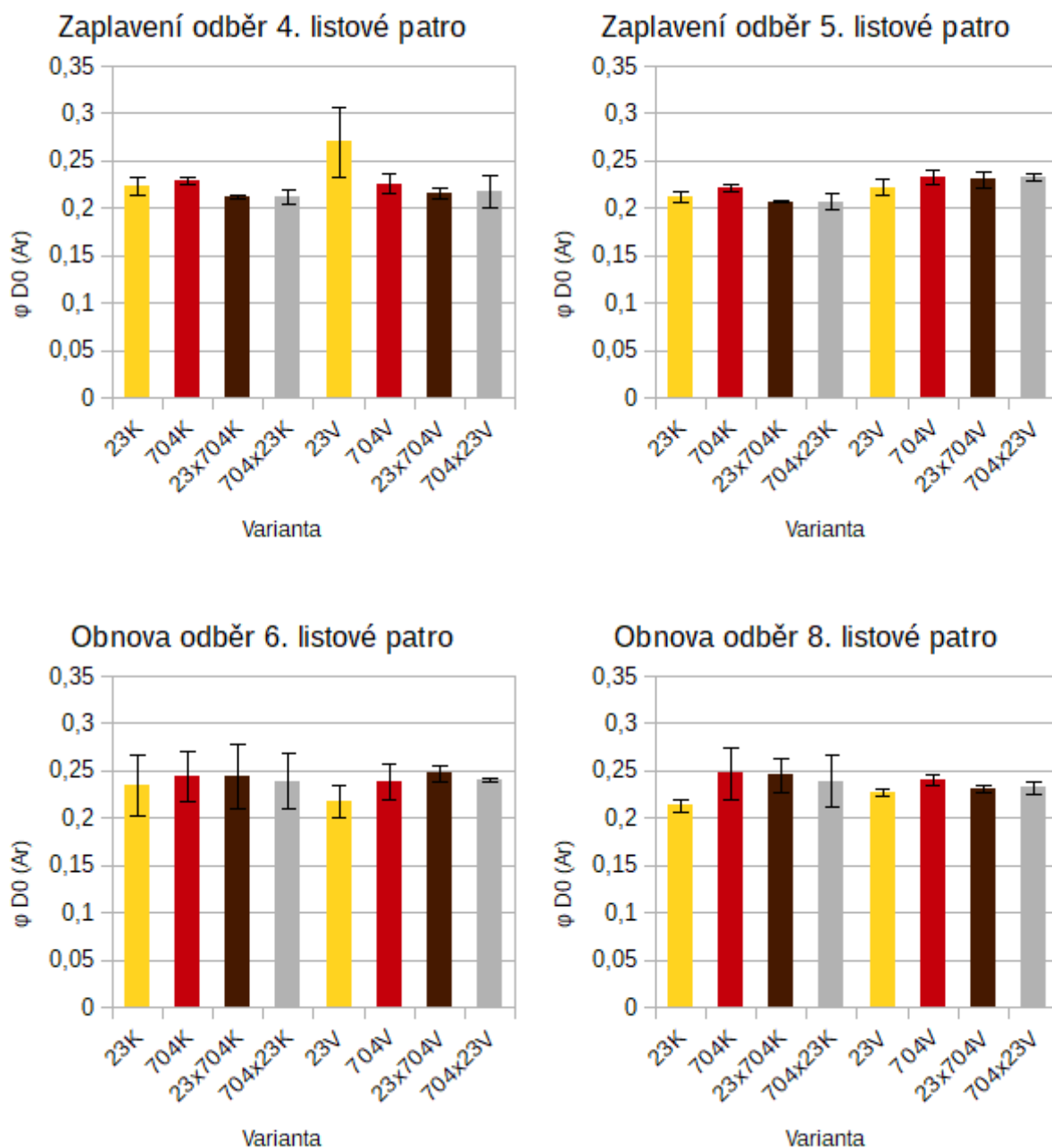
Obr. 21: Hodnoty ϕ E0 dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



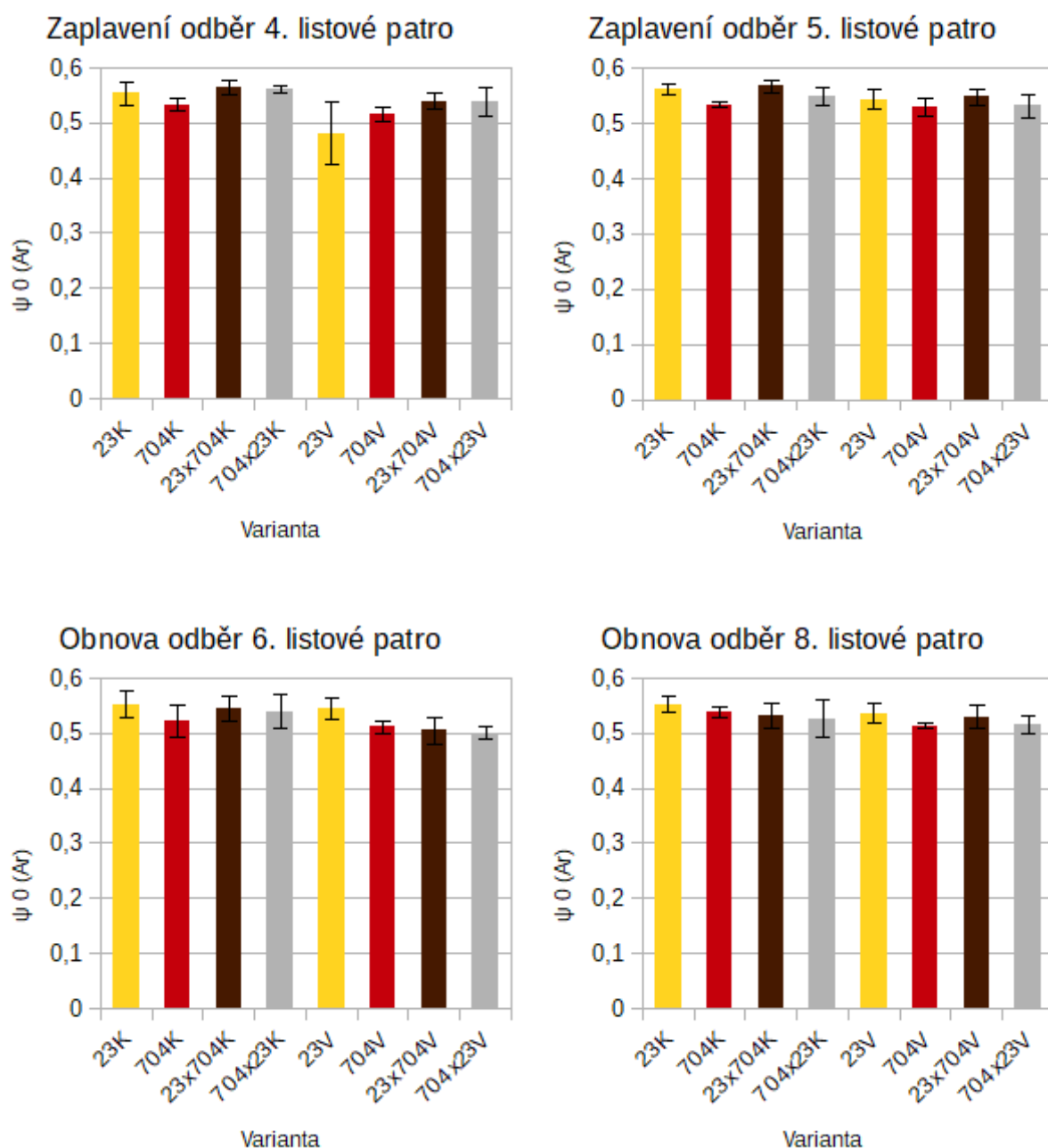
Obr. 22: Hodnoty ϕ RE0 dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



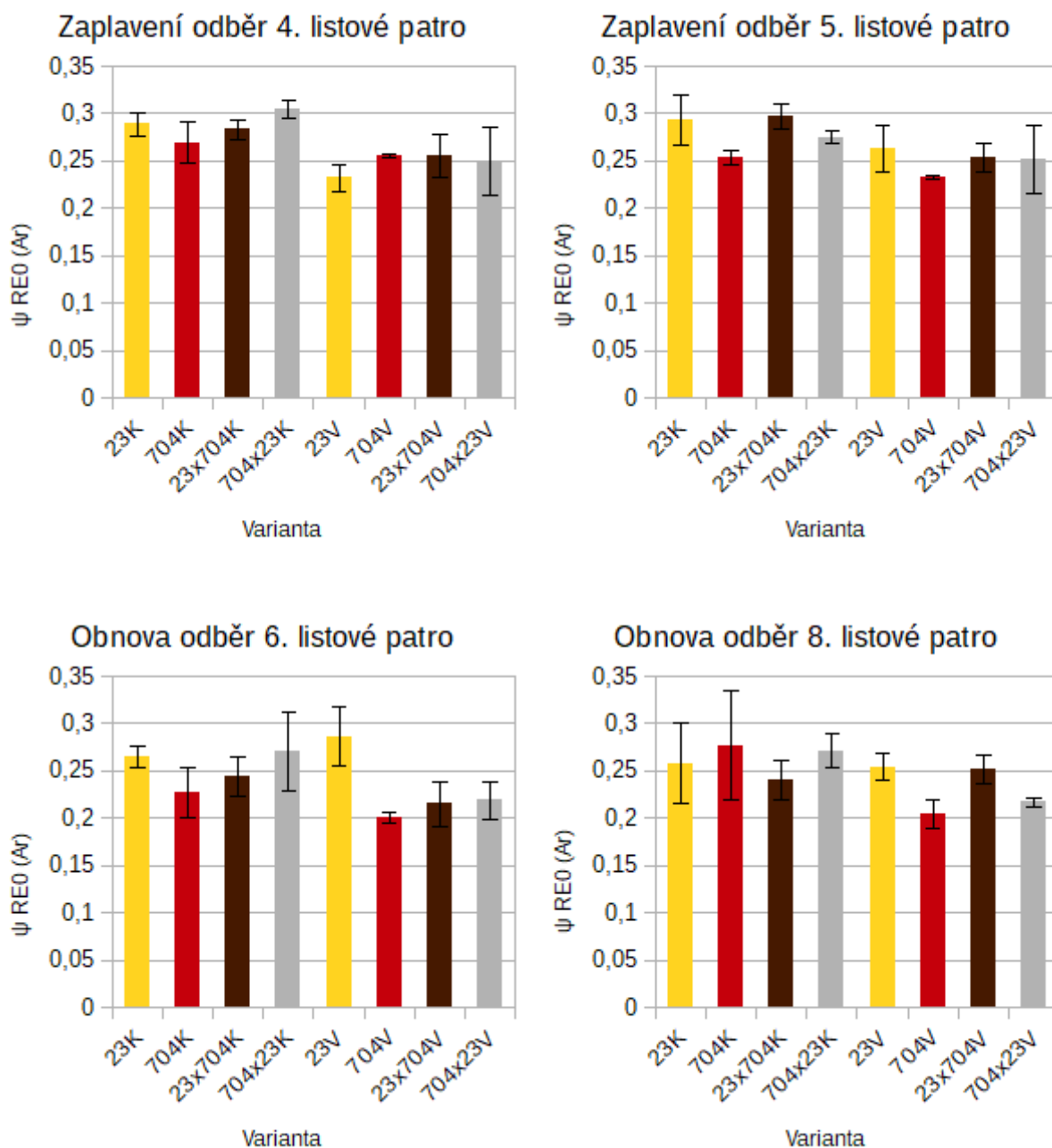
Obr. 23: Hodnoty ϕ D0 dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



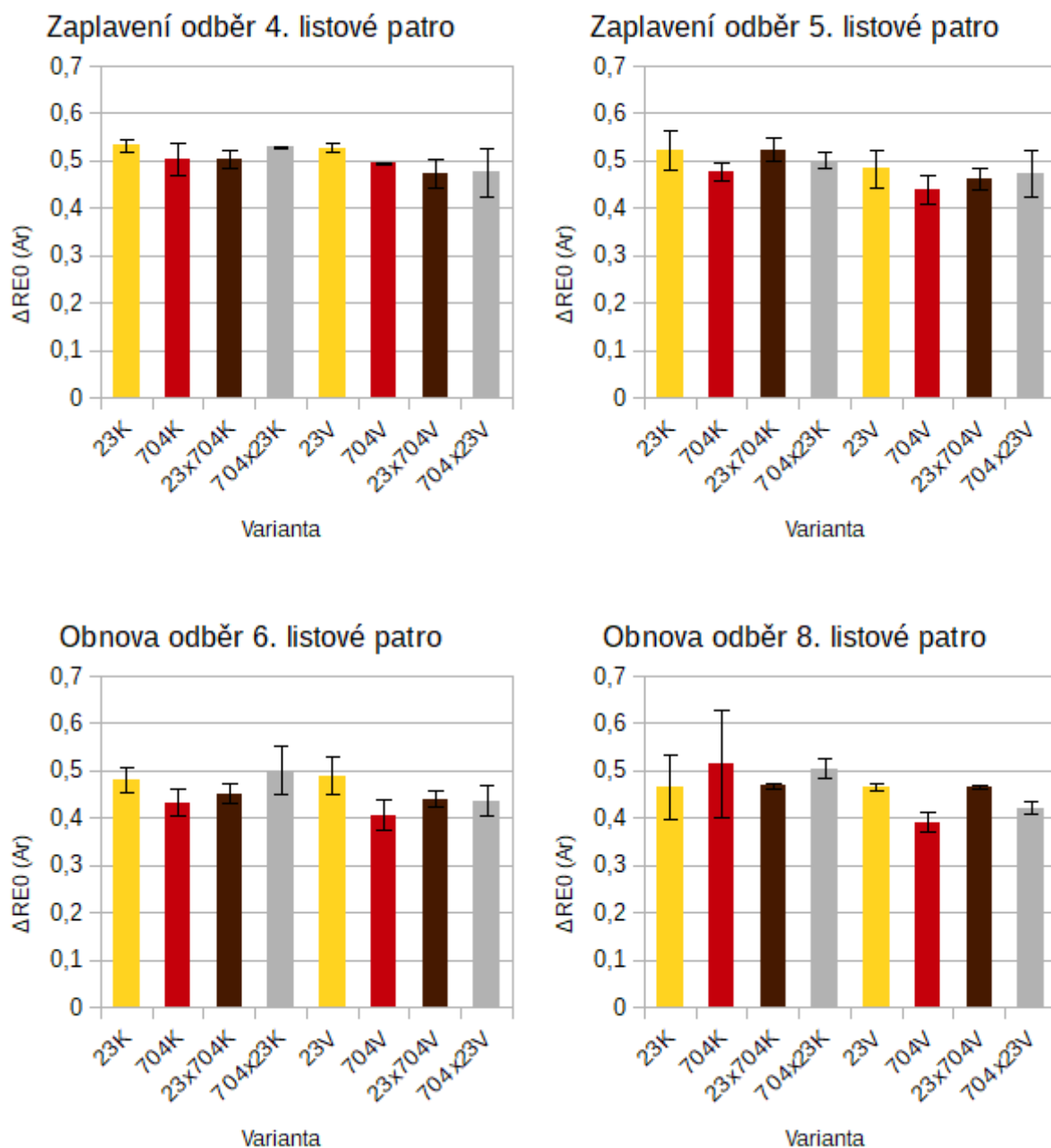
Obr. 24: Hodnoty ψ_0 dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



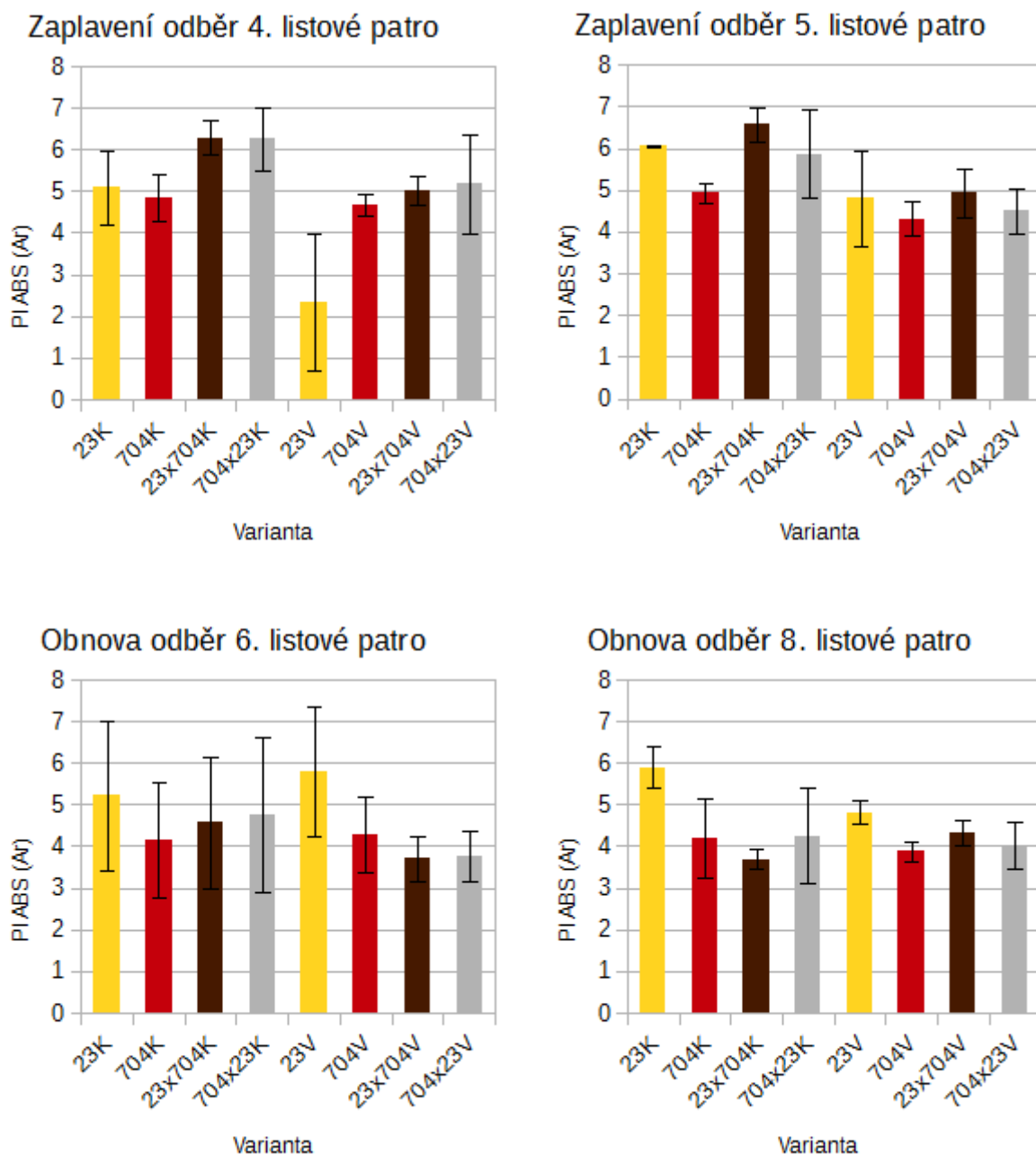
Obr. 25: Hodnoty ψ_{RE0} dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



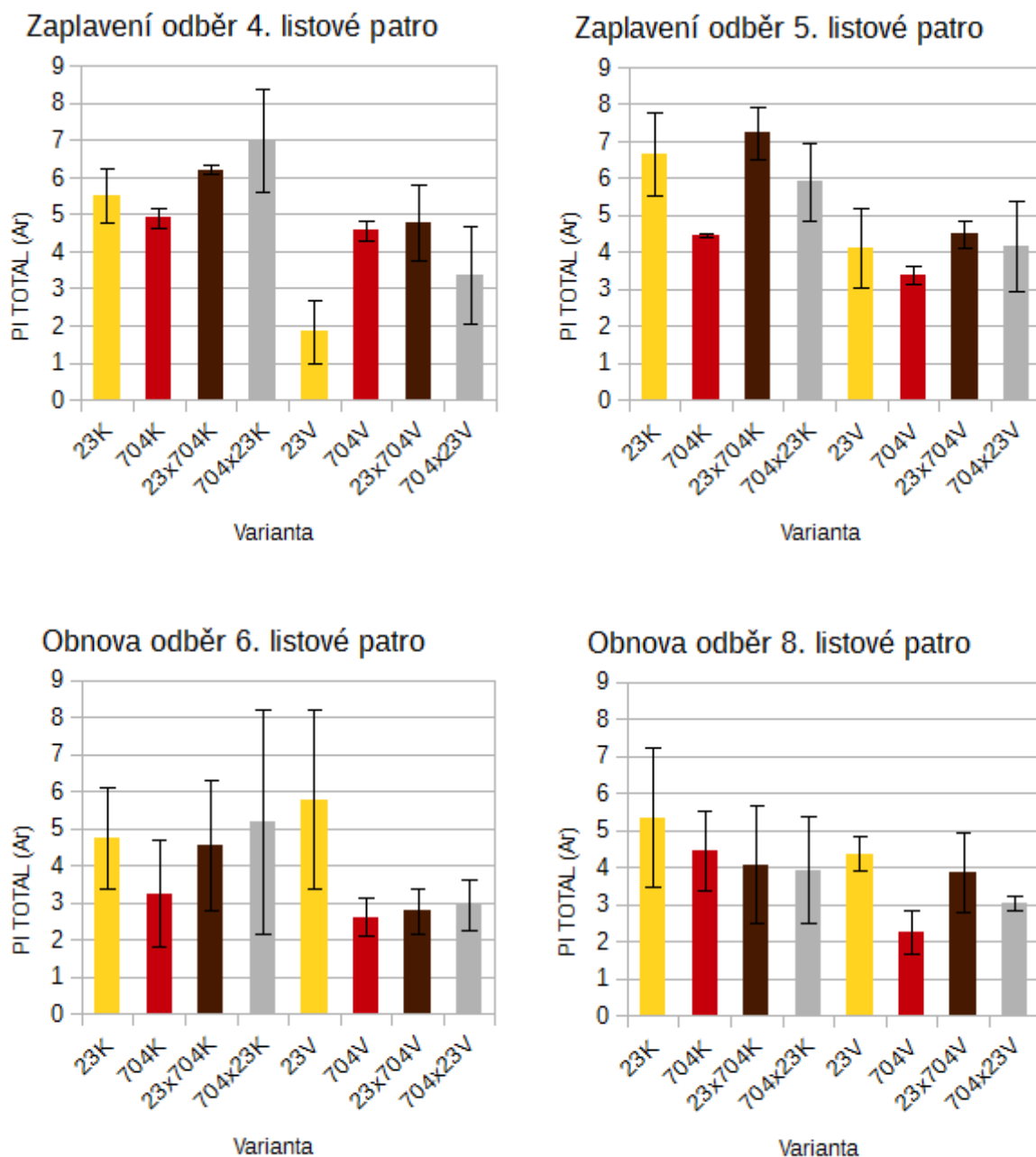
Obr. 26: Hodnoty $\Delta RE0$ dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



Obr. 27: Hodnoty PI ABS dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



Obr. 28: Hodnoty PI TOTAL dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročních kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.3.3. Fotosyntetické pigmenty

Z uvedených výsledků jsem zjistil, že zaplavení vede k poklesu koncentrace obsahu chlorofylů a karotenoidů v listu. Po návratu do optimálních podmínek zůstával obsah fotosyntetických pigmentů u rostlin, které byly vystaveny zaplavení nižší oproti rostlinám pěstovaným po celou dobu experimentu v kontrolních podmínkách. S rostoucím stářím rostlin docházelo k mírnému poklesu obsahu chlorofylů (obr. 29)

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u rostlin série II (tab. 9) a u rostlin série II s následnou obnovou (tab. 11). V těchto pokusných sériích byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly ve všech sledovaných parametrech. Následná analýza ukázala průkazné rozdíly mezi jednotlivými genotypy (tab. 18, 19).

Z ANOVY dvojného třídění ve výjimečných případech vyplynuly průkazné interakce mezi pěstováním a genotypy u rostlin série II (tab. 9) a u rostlin série II s následnou obnovou (tab. 11). ANOVA jednoduchého třídění ukázala rozdíly mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 21, 22).

U rostlin série I obsah chlorofylu *a* i *b* v kontrolních podmínkách i u stresovaných rostlin dosahoval u rodičovské linie 2023 nižších hodnot oproti ostatním genotypům. Zbylé genotypy dosahovaly podobných hodnot (obr. 29).

Podobné výsledky byly zjištěny i u rostlin série II. U těchto rostlin docházelo během zaplavení k průkaznému snížení obsahu chlorofylu *b* a celkového obsahu chlorofylů u všech sledovaných genotypů stresovaných rostlin, zároveň rodičovská linie 2023 v kontrolních podmínkách dosahovala průkazně nižších hodnot oproti linii CE704 (tab. 21, obr. 29).

U rostlin série I s následnou obnovou se v kontrolních podmínkách rozdíly mezi genotypy stírají. U stresovaných můžeme sledovat trend, kdy linie 2023 dosahuje vyšších hodnot oproti zbylým genotypům (obr. 29).

U rostlin série II s následnou obnovou v kontrolních podmínkách dosahoval průkazně nejnižších hodnot kříženec 2023xCE704. Naopak rodičovská linie CE704 dosahovala vyšších hodnot oproti zbylým genotypům. U rostlin, které byly vystaveny stresu se rodičovské linie mezi sebou nelišily, ale dosahovaly průkazně vyšších hodnot oproti reciprokým křížencům, kteří se mezi sebou průkazně nelišili (tab. 19, obr. 29). U parametrů obsahu chlorofylu *a* a celkového obsahu chlorofylu byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování. Rodičovské linie a křížence CE704x2023 dosahovali v kontrolních podmínkách

statisticky průkazně vyšších hodnot oproti rostlinám vystaveným stresu (tab. 23, obr. 29). Obsah chlorofylu *b* a celkových byl srovnatelný s obsahem chlorofylu *a*.

Rovněž hodnoty obsahu celkových karotenoidů byly srovnatelné s hodnotami obsahu chlorofylu *a* (obr. 29, 30) u mladších i starších rostlin. U starších rostlin vystavených zaplavení (série II) linie 2023 dosahovala průkazně nižších hodnot oproti sledovaným genotypům a kříženec CE704x2023 dosahoval průkazně vyšších hodnot oproti zbylým genotypům (tab. 17, obr. 30).

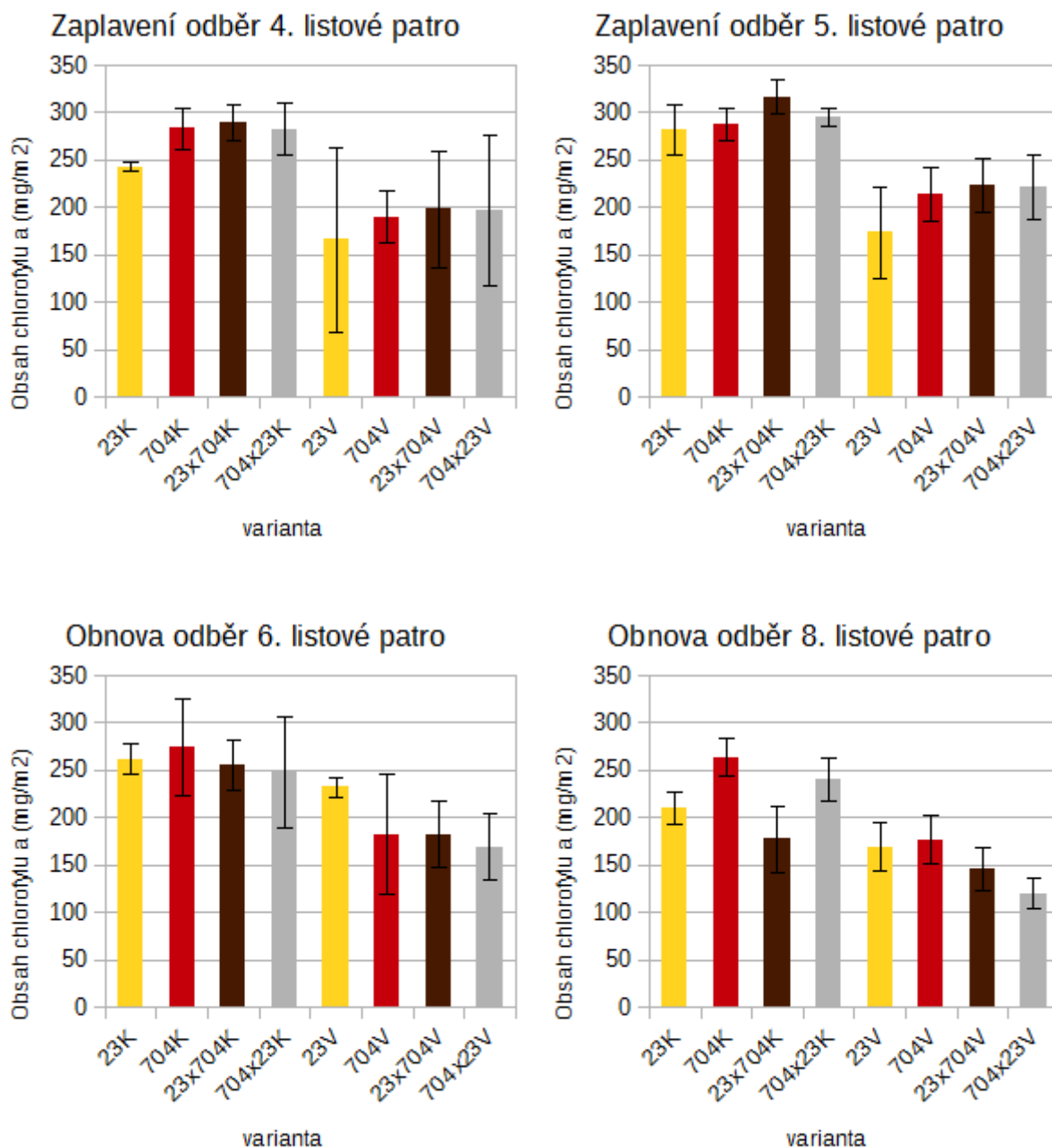
U rostlin série I s následnou obnovou nebyly v kontrolních podmínkách patrné výrazné rozdíly mezi genotypy. U rostlin, které byly vystaveny stresu, dosahuje rodičovská linie 2023 vyšších hodnot tohoto parametru a linie CE704 dosahuje nižších hodnot oproti zbylým genotypům (obr. 30).

U rostlin série II s následnou obnovou v kontrolních podmínkách dosahovala linie CE704 vyšších hodnot proti ostatním genotypům a kříženec 2023xCE704 dosahoval nižších hodnot. U rostlin vystavených stresu byl sledován zcela jiný trend, kdy vyšších hodnot dosahovala rodičovská linie 2023 a výrazně nižších hodnot kříženec CE704x2023 oproti sledovaným genotypům (obr. 30). Ze statistického hodnocení však vyplynuly rozdíly v závislosti na způsobu pěstování. Linie CE704 a kříženec CE704x2023 dosahovali, v optimálních podmínkách statisticky průkazně vyšších hodnot obsahu karotenoidů (tab. 23, obr. 30)

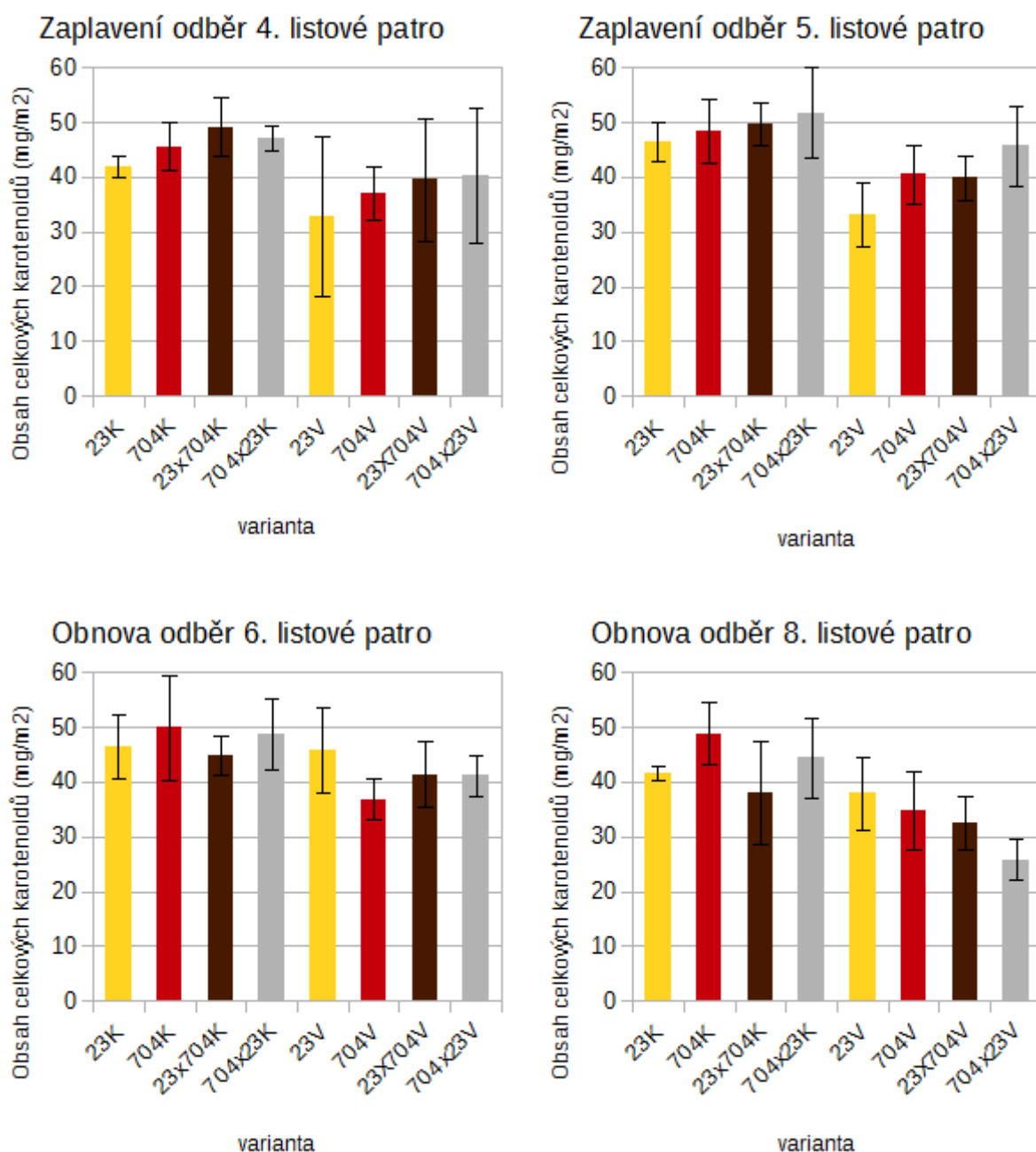
Poměr chlorofylu *a/b* nebyl ovlivněn způsobem pěstování a vykazoval u všech genotypů, bez ohledu na stáří rostlin a podmínky pěstování srovnatelné hodnoty (obr. 31).

Zaplavení vedlo k poklesu hodnot poměru celkových chlorofylů/ karotenoidů u série I a série II. Během následné obnovy docházelo u obou sérií jenom k částečnému vzpamatování. Statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy byly zjištěny jenom u rostlin série II s následnou obnovou (tab. 11). U těchto rostlin linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosahovali průkazně nižších hodnot oproti linii CE704 a kříženci CE704x2023 (tab. 19).

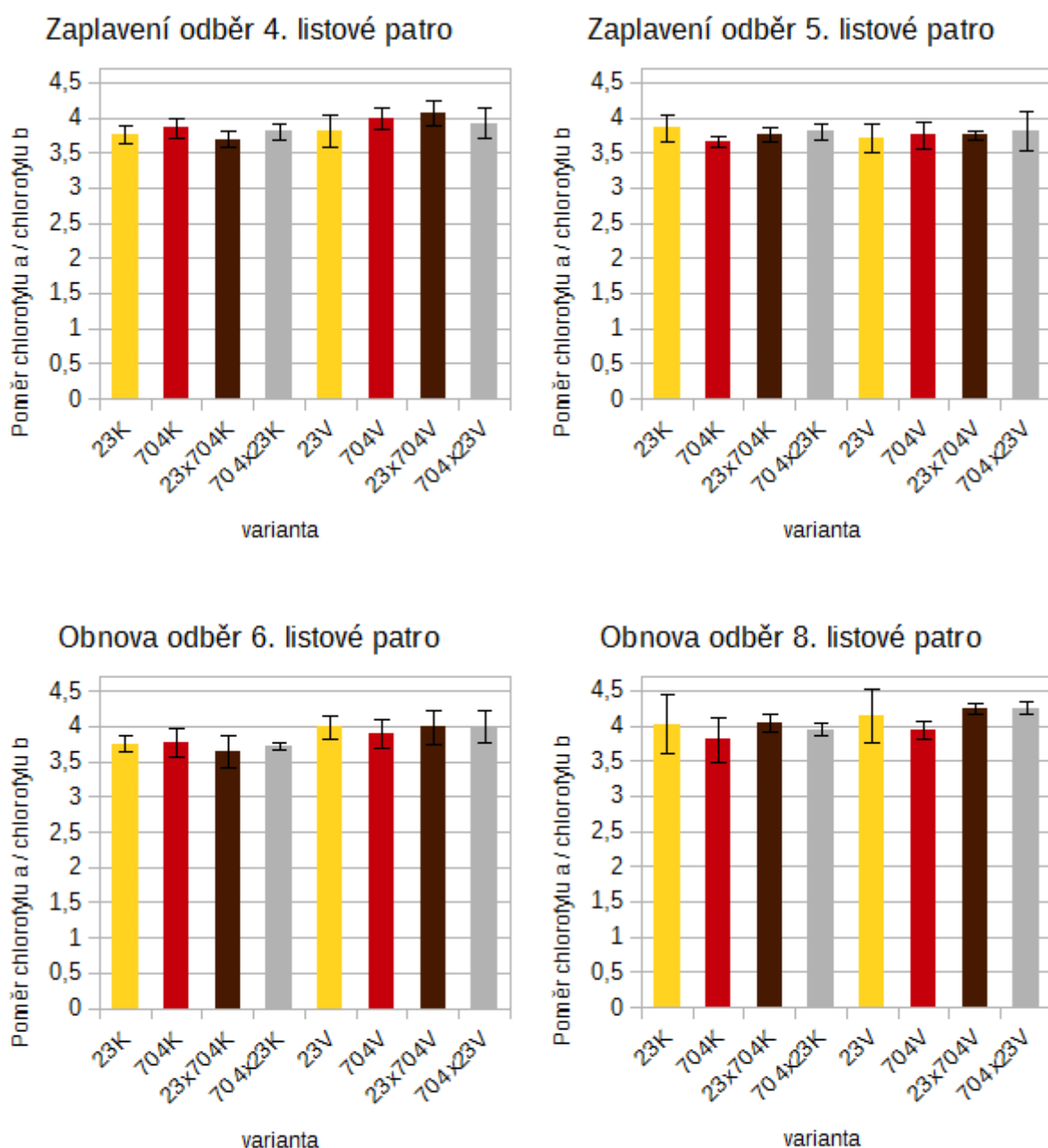
Obr. 29: Hodnoty obsahu chlorofylu *a* dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



Obr. 30: Hodnoty obsahu karotenoidů dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



Obr. 31: Poměr chlorofylu *a/b* dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.4. Parametry poškození buněk

5.4.1. Index poškození membrán

Index poškození membrán se pohyboval v rozmezí (19-28%) a v jednotlivých pokusných sériích byly výsledky v podstatě srovnatelné. Nejvyšší poškození bylo zjištěno u genotypů série II s následnou obnovou, nižší hodnoty naopak byly zjištěny u rostlin série I a II (obr. 32).

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u rostlin série I (tab. 8) a u rostlin série I s následnou obnovou (tab. 10). U těchto pokusných sérií ANOVA jednoduchého třídění ukázala průkazné rozdíly mezi jednotlivými genotypy (tab. 16, 18).

Z analýzy dvojného třídění vyplynuly průkazné interakce mezi pěstováním a genotypy u mladších rostlin (série I) vystavených zaplavení (tab. 8). Následná detailní analýza ukázala rozdíly mezi genotypy a způsobem pěstování.

U rostlin série I v kontrolních podmínkách vykazovala rodičovská linie 2023 průkazně vyšší poškození membrán oproti linii CE704 a křížencům (tab. 16, obr. 32). Zároveň u této linie bylo zjištěno průkazně vyšší poškození membrán v kontrolních podmínkách oproti vystavení stresu (tab. 20, obr. 32). U rostlin vystavených zaplavení byl sledován podobný trend, kdy linie 2023 dosahuje nejvyššího poškození membrán.

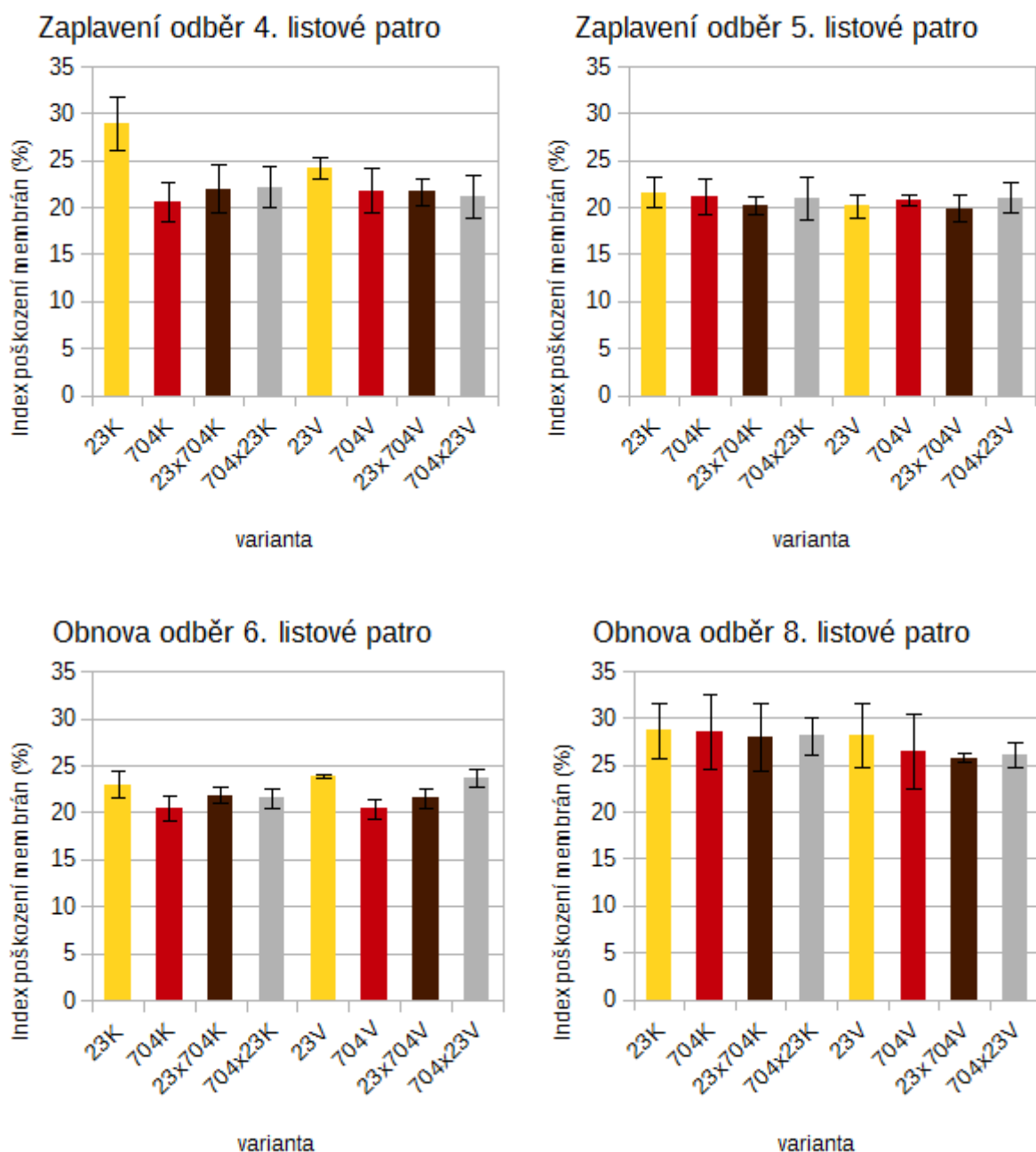
U rostlin série II v kontrolních podmínkách se rozdíly mezi genotypy stírají. Podobné chování bylo zjištěno i v podmínkách zaplavení (obr. 32).

U rostlin série I s následnou obnovou v kontrolních podmínkách měla průkazně vyšší míru poškození rodičovská linie 2023. Průkazně nejnižších hodnot poškození ve srovnání s ostatními genotypy dosahovala rodičovská linie CE704. Naopak kříženci se průkazně nelišili (tab. 18, obr. 32). U rostlin, které byly původně vystaveny stresu dosahovala průkazně vyšších hodnot linie 2023 a kříženec CE704x2023. Naopak průkazně nižší hodnoty byly zjištěny u druhé rodičovské linie CE704 a křížence 2023xCE704 (tab. 18, obr. 32)

U rostlin série II s následnou obnovou se v kontrolních podmínkách stírají rozdíly mezi genotypy. Naopak u původně stresovaných rostlin je patrný pokles v závislosti na genotypu (obr. 32).

Z výsledků je patrné, že zaplavení nemá významnější vliv na poškození membrán. Mírně zvýšené hodnoty indexu poškození membrán je patrné pouze u starších, původně zaplavených rostlin po fázi obnovy.

Obr. 32: Hodnoty poškození buněčných membrán dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.4.2. Obsah malondiadehydu

Obsah malondiadehydu v listové čepeli se pohyboval v širokém rozmezí hodnot (5-24 nmol/g). Vyšší hodnoty byly zjištěny u genotypů rostlin série I vystavených zaplavení oproti kontrolním rostlinám. Nižší hodnoty téměř všech genotypů byly pozorovány u rostlin série II s následnou obnovou (obr. 33). Vystavení stresu zaplavením vede ke zvýšení obsahu MDA u mladších rostlin. U starších rostlin byl zjištěn během zaplavení pokles koncentrace u rodičovských linií a křížence CE704x2023. V následných posthypoxických podmínkách u obou sérií byla zjištěna vyšší koncentrace MDA u rostlin, které byly vystaveny zaplavení, oproti rostlinám pěstovaným po celou dobu experimentu v kontrolních podmínkách (obr. 33).

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy pouze u rostlin série II s následnou obnovou (tab. 11). U této pokusné série ANOVA jednoduchého třídění potvrdila rozdíly mezi genotypy (tab. 19).

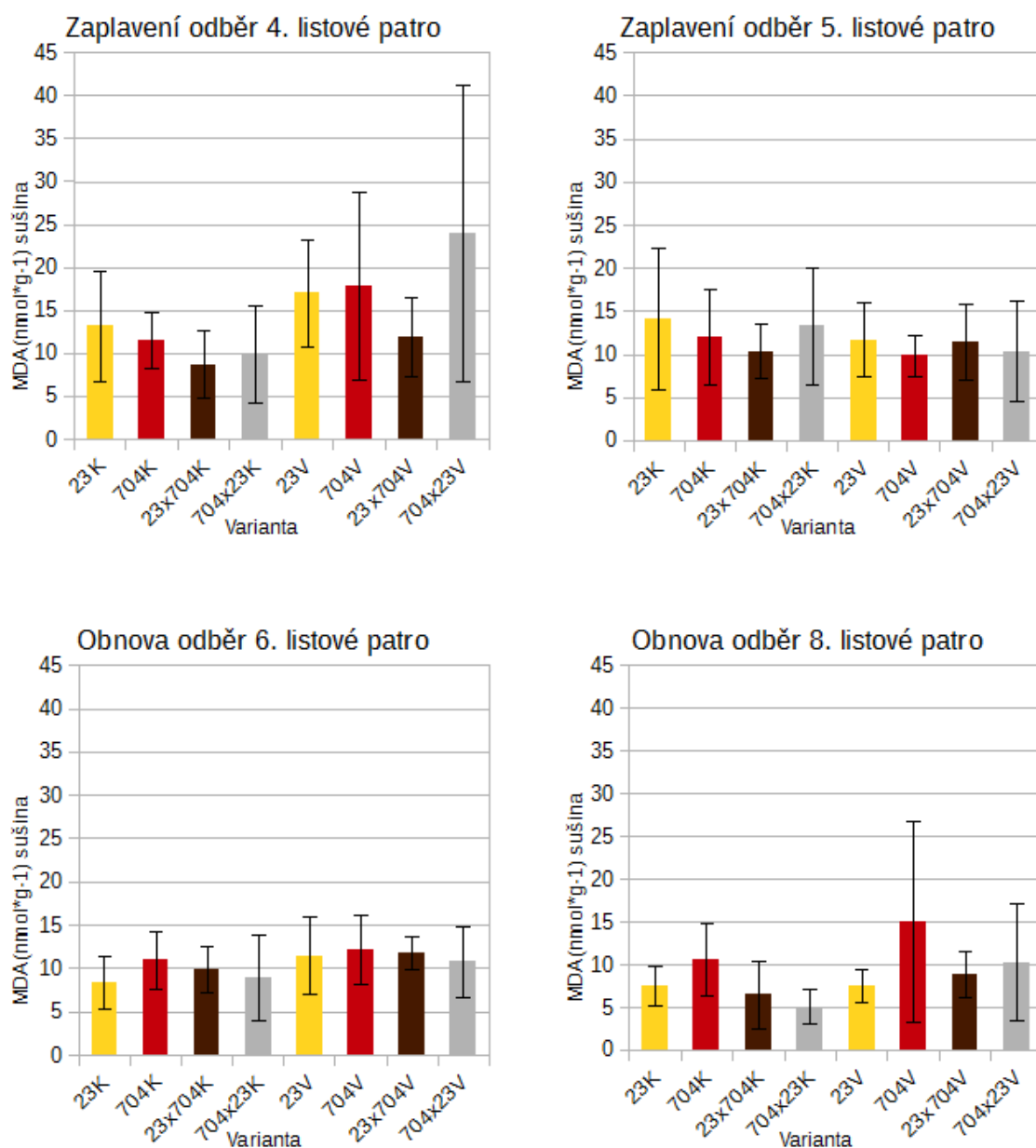
U rostlin série I v kontrolních podmínkách dosahovaly vyšších hodnot rodičovské linie oproti křížencům. U rostlin vystavených stresu zaplavením dosahovaly rodičovské linie srovnatelných vyšších hodnot koncentrace MDA. Nejvyšší hodnoty tohoto parametru vykazoval u této série kříženec CE704x2023, zatímco kříženec 2023xCE704 dosahoval nižších hodnot koncentrace než rodičovské linie.

U rostlin série II v kontrolních podmínkách dosahovala podobných hodnot rodičovská linie 2023 s křížencem CE704x2023. Naopak kříženec 2023xCE704 dosahoval nejnižších hodnot koncentrace MDA. U stresovaných rostlin se rozdíly mezi genotypy stírají.

U rostlin série I s následnou obnovou v kontrolních podmínkách dosahovala nejnižších hodnot linie 2023 a nejvyšších linie CE704. U stresovaných rostlin byla koncentrace MDA u všech genotypů na podobné úrovni.

U rostlin série II s následnou obnovou v kontrolních podmínkách dosahovala linie CE704 nejvyšší hodnoty koncentrace MDA a rozdíl oproti kříženci CE704x2023 byl statisticky průkazný (tab. 19, obr. 33). Rovněž u stresovaných rostlin dosahovala nejvyšších hodnot linie CE704, linie 2023 měla hodnoty nejnižší (obr. 33).

Obr. 33: Hodnoty koncentrace MDA dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.4.3. Obsah peroxidu vodíku

Koncentrace peroxidu vodíku v listové čepeli se pohybovala v širokém rozmezí hodnot (5,02-25,28 μ mol/g). Vyšší hodnoty dosahovaly genotypy vystavené stresu, nižších hodnot naopak ty pěstované v kontrolních podmínkách (obr. 34). U rostlin vystavených hypoxii a posthypoxii nejvyšších hodnot obsahu peroxidu vodíku dosáhli kříženci (CE704x2023 i 2023xCE704) a nejnižších hodnot zpravidla linie 2023. U rostlin série II s následnou obnovou dosahovaly rostliny této linie, původně vystavené zaplavení nižších hodnot koncentrace peroxidu vodíku než rostliny pěstované po celou dobu experimentu v optimálních podmínkách.

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u rostlin série I (tab. 8), u rostlin série I s následnou obnovou (tab. 10) a u rostlin série II s následnou obnovou (tab. 11). U těchto pokusných sérií následná ANOVA jednoduchého třídění ukázala průkazné rozdíly mezi jednotlivými genotypy (tab. 16, 18).

U rostlin série I v kontrolních podmínkách linie CE704 dosahovala průkazně vyšších hodnot koncentrace peroxidu vodíku ve srovnání s ostatními genotypy. Nejnižších hodnot statisticky průkazně dosahovala rodičovská linie 2023. U rostlin, které byly vystaveny stresu zaplavením, byl sledován podobný trend jako u kontrolních, s výjimkou křížence 2023xCE704 a linie CE704 mezi kterými nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly (tab. 16, obr. 34).

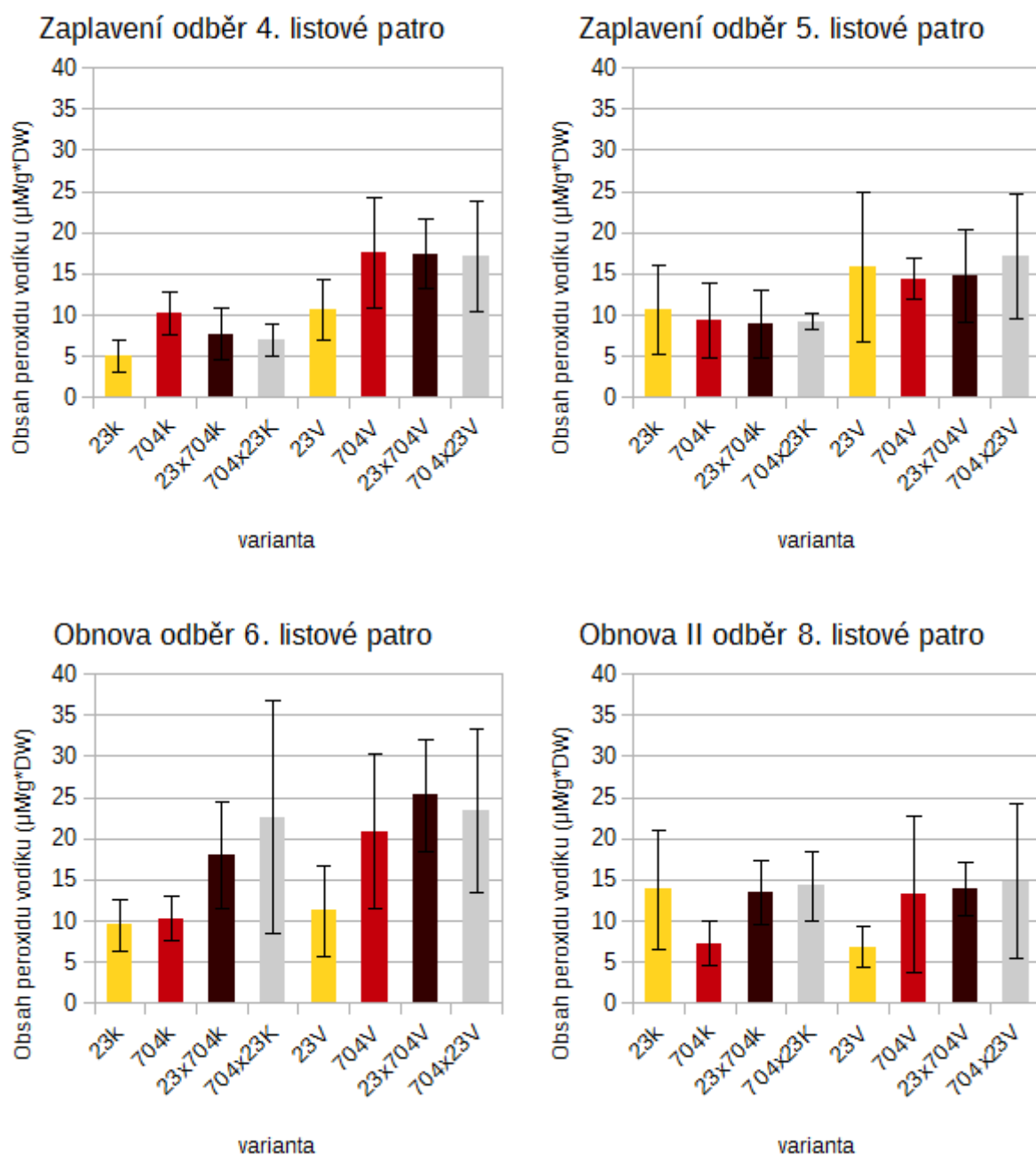
U rostlin série II nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly (tab. 9), ale z výsledků je patrné, že v kontrolních podmínkách dosahovala nejvyšších hodnot rodičovská linie 2023. Rodičovská linie CE704 a kříženci dosahovali velmi podobných hodnot koncentrace peroxidu vodíku. U rostlin vystavených stresu dosahoval nejvyšších hodnot kříženec CE704x2023 následovaný rodičovskou linií 2023. Kříženec 2023xCE704 dosahoval podobných hodnot jako rodičovská linie CE704 (obr. 34).

U rostlin série I s následnou obnovou v kontrolních podmínkách dosáhl kříženec CE704x2023 průkazně vyšších hodnot oproti rodičovským liniím (tab. 18, obr. 34). U rostlin, které byly vystaveny zaplavení, dosahují kříženci průkazně vyšších hodnot oproti rodičovským liniím. Linie 2023 vykazuje nejnižší hodnoty a rozdíly v porovnání s ostatními genotypy byly statisticky průkazné (tab. 18).

U rostlin série II s následnou obnovou v kontrolních podmínkách dosahovala rodičovská linie CE704 průkazně nižších hodnot oproti křížencům. Rozdíl hodnot ve srovnání s linií 2023 byl rovněž výrazný, ale statisticky nebyl průkazný (tab. 19, obr. 34). U rostlin, které byly původně vystaveny zaplavení, dosahovala nejnižších hodnot rodičovská linie 2023, zatímco

hodnoty u linie CE704 byly srovnatelné s hodnotami obou kříženců. Statisticky průkazný byl však pouze rozdíl hodnot u linie 2023 oproti kříženci 2023xCE704 (tab. 19, obr. 34).

Obr. 34: Hodnoty koncentrace peroxidu vodíku dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.4.4. Aktivita katalázy

Aktivita katalázy se pohybovala v širokém rozmezí hodnot (135-720mmol/mg). Vyšších hodnot dosahovaly genotypy vystavené stresu, nižších hodnot naopak ty pěstované v kontrolních podmínkách (obr. 35).

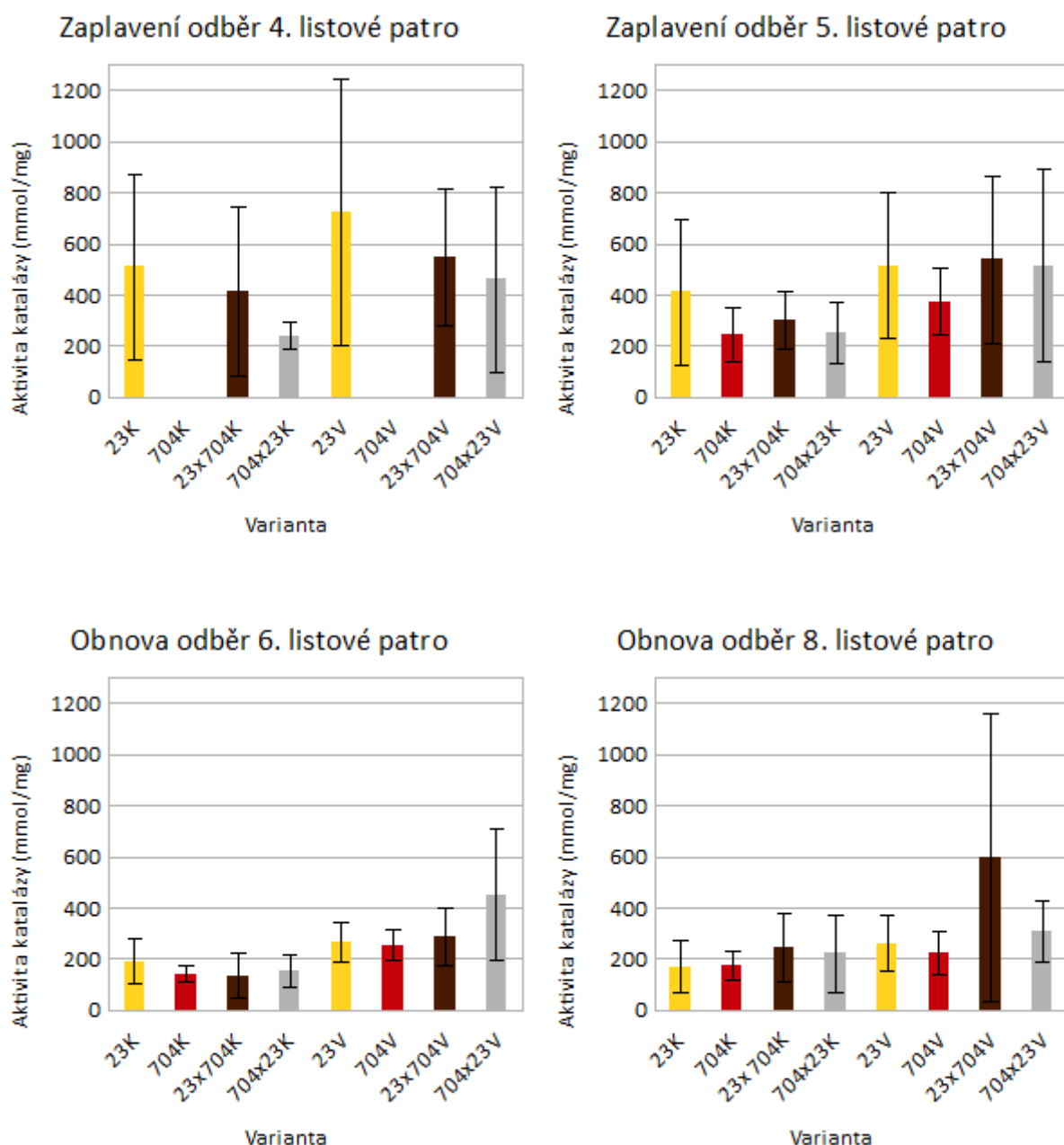
Zaplavení rostlin u obou pokusných sérií vedlo k nárůstu aktivity katalázy. Zároveň u kontrolních rostlin docházelo s rostoucím stářím rostlin k poklesu hodnot.

U rostlin série I i II linie 2023 dosahovala nevyšších hodnot aktivity katalázy, jak v kontrolních podmínkách, tak v podmínkách vystavení zaplavení. Naopak linie CE704 vykazovala hodnoty nejnižší. Při zaplavení dosahoval kříženec 2023xCE704 v obou pokusných sériích vyšších hodnot aktivity než kříženec CE704x2023. U rostlin série I z důvodu nedostatku pokusného materiálu chybí výsledky aktivity katalázy pro rodičovskou linii CE704.

Po návratu do optimálních podmínek se rozdíl mezi stresovanými a kontrolními rostlinami částečně stírají, ale stále je u původně zaplavených rostlin patrný trend zvýšení hodnot oproti rostlinám pěstovaným po celou dobu v optimálních podmínkách (obr 35). U původně stresovaných rostlin dosahovali vyšších hodnot kříženci než rodičovské linie.

Z ANOVY dvojného třídění vyplynuly rozdíly na hranici průkaznosti u genotypů a interakce mezi genotypem a způsobem pěstování (tab. 10). Následná ANOVA jednoduchého třídění průkazné rozdíly nepotvrdila.

Obr. 35: Hodnoty aktivity katalázy dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023). Rostliny byly pravidelně zalévány po celou dobu pokusu (K), nebo byly po 18 / 32 dnech vývoje v normálních podmínkách (4. listové patro / 5. listové patro) vystaveny stresu zaplavením po dobu 10 dní (V). Po ukončení zaplavení byly rostliny V pěstované opět v normálních podmínkách jako rostliny K po dobu 20 dní (obnova). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). (Výsledky statistických analýz jsou uvedeny v tabulkách 8-22)



5.5. Statistické vyhodnocení výsledků

5.5.1. Výsledky analýz rozptylů

Tabulka 8: Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 18 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě). Průkazné hodnoty Bartlettova testu označené hvězdičkou značí zamítnutí hypotézy o shodnosti rozptylů i po logaritmické transformaci dat (následná analýza Games-Howellův test). Hodnoty označené dvěma hvězdičkami značí potvrzení shody rozptylů po logaritmické transformaci dat (pro následnou analýzu mohl být použit Tukey-Kramerův test).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Pěstování	Genotyp x pěstování	Bartlett
Relativní obsah vody v listu	0,052	0,106	0,331	0,037 *
Rychlost transpirace	0,000	0,012	0,330	0,075
Vodivost průduchů	0,000	0,011	0,686	0,949
WUE	0,268	0,000	0,312	0,053
WUEi	0,220	0,000	0,221	0,276
Rychlost čisté fotosyntézy	0,000	0,001	0,411	0,004 *
F0	0,002	0,005	0,033	0,000 *
VJ	0,007	0,000	0,056	0,006 *
VI	0,306	0,000	0,100	0,020 *
M0	0,141	0,007	0,412	0,000 *
φ P0	0,000	0,015	0,006	0,000 *
φ E0	0,119	0,000	0,191	0,021 *
φ RE0	0,280	0,000	0,097	0,001 *
φ D0	0,000	0,015	0,006	0,000 *
ψ 0	0,007	0,000	0,056	0,006 *
ψ RE0	0,306	0,000	0,100	0,020 *
Δ RE0	0,011	0,226	0,170	0,000 *
γ RC	0,000	0,001	0,027	0,001 *
ABS/RC	0,000	0,002	0,016	0,000 *
TP0/RC	0,000	0,000	0,088	0,152
ET0/RC	0,001	0,097	0,095	0,022 *
RE0/RC	0,012	0,000	0,067	0,000 *
DI0/RC	0,000	0,004	0,013	0,000 *
PI ABS	0,000	0,000	0,029	0,026 *
PI TOTAL	0,002	0,000	0,002	0,010 *
PRI listu	0,154	0,177	0,000	0,181
NDVI listu	0,467	0,000	0,077	0,000 *
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,512	0,000	0,991	0,002 *
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,520	0,000	0,937	0,003 *
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,512	0,000	0,986	0,001 *
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,396	0,011	0,991	0,015 *
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,261	0,000	0,842	0,056
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,177	0,000	0,762	0,090
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,265	0,000	0,861	0,047 *
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,972	0,156	0,991	0,006 *
Poměr chlorofylu a/b	0,350	0,005	0,170	0,717
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,611	0,000	0,290	0,039 *
Index poškození membrán	0,000	0,094	0,032	0,843
Koncentrace MDA	0,300	0,006	0,437	0,055 **
Koncentrace H ₂ O ₂	0,000	0,000	0,396	0,737
Aktivita katalázy	0,239	0,015	0,712	0,051
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,000	0,017	0,649	0,019 *
Hmotnost celé rostliny sušiny	0,000	0,033	0,678	0,075
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,000	0,047	0,624	0,014 *
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,000	0,060	0,627	0,064
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,000	0,003	0,222	0,151
Hmotnost kořenů sušina	0,000	0,011	0,564	0,069
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,000	0,319	0,353	0,003 *
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,000	0,343	0,346	0,075
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,000	0,001	0,043	0,221
Hmotnost listu sušina	0,000	0,002	0,015	0,307
Specifická hmotnost listu	0,010	0,003	0,182	0,019 *
Plocha listu	0,000	0,073	0,005	0,656
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,000	0,295	0,220	0,117
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	0,000	0,002	0,107	0,691
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,007	0,700	0,085	0,037 *
Počet plně vyvinutých listů	0,000	1,000	1,000	n/a
Počet viditelných listů	0,000	0,098	0,695	0,992

Tabulka 9: Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 32 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě). Průkazné hodnoty Bartlettova testu označené hvězdičkou značí zamítnutí hypotézy o shodnosti rozptylů i po logaritmické transformaci dat (následná analýza Games-Howellův test). Hodnoty označené dvěma hvězdičkami značí potvrzení shody rozptylů po logaritmické transformaci dat (pro následnou analýzu mohl být použit Tukey-Kramerův test).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Pěstování	Genotyp* pěstování	Bartlett'
Relativní obsah vody v listu	0,014	0,413	0,162	0,021 *
Rychlost transpirace	0,915	0,730	0,096	0,005 *
Vodivost průduchů	0,721	0,453	0,016	0,095
WUE	0,658	0,140	0,760	0,054 **
WUEi	0,956	0,070	0,324	0,192
Rychlost čisté fotosyntézy	0,792	0,043	0,023	0,002 *
F0	0,003	0,000	0,173	0,001 *
VJ	0,001	0,006	0,559	0,719
VI	0,007	0,000	0,631	0,009 *
M0	0,002	0,000	0,636	0,080
φ P0	0,007	0,000	0,019	0,273
φ E0	0,003	0,926	0,867	0,336
φ RE0	0,002	0,000	0,506	0,085
φ D0	0,007	0,000	0,019	0,273
ψ 0	0,003	0,004	0,727	0,551
ψ RE0	0,001	0,005	0,173	0,140
Δ RE0	0,042	0,000	0,697	0,376
γ RC	0,086	0,000	0,941	0,023 *
ABS/RC	0,098	0,000	0,963	0,015 *
TP0/RC	0,102	0,001	0,313	0,003 *
ET0/RC	0,194	0,035	0,387	0,021 *
RE0/RC	0,002	0,000	0,360	0,083
DI0/RC	0,185	0,000	0,836	0,001 *
PI ABS	0,007	0,000	0,392	0,003 *
PI TOTAL	0,001	0,000	0,216	0,009 *
PRI listu	0,076	0,056	0,512	0,003 *
NDVI listu	0,326	0,008	0,826	0,548
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,021	0,000	0,508	0,292
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,006	0,000	0,301	0,016 *
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,022	0,000	0,543	0,200
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,017	0,000	0,561	0,729
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,009	0,000	0,510	0,000 *
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,000	0,000	0,137	0,000 *
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,000	0,000	0,043	0,003 *
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,000	0,000	0,132	0,002 *
Poměr chlorofylu a/b	0,638	0,845	0,532	0,141
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,276	0,000	0,312	0,076
Index poškození membrán	0,478	0,317	0,757	0,609
Koncentrace MDA	0,660	0,224	0,702	0,058
Koncentrace H ₂ O ₂	0,798	0,000	0,872	0,000 *
Aktivita katalázy	0,282	0,002	0,926	0,227 **
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,000	0,029	0,619	0,041 *
Hmotnost celé rostliny sušiny	0,000	0,313	0,880	0,142
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,000	0,018	0,702	0,095
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,000	0,355	0,945	0,129
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,000	0,197	0,401	0,003 *
Hmotnost kořenů sušina	0,000	0,220	0,464	0,119
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,000	0,009	0,447	0,131
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,000	0,123	0,754	0,110
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,000	0,085	0,713	0,196
Hmotnost listu sušina	0,000	0,467	0,952	0,177
Specifická hmotnost listu	0,000	0,015	0,593	0,456
Plocha listu	0,000	0,772	0,833	0,490
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,000	0,077	0,591	0,214
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	0,000	0,000	0,807	0,975
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,000	0,003	0,880	0,791
Počet plně vyvinutých listů	0,003	0,325	0,801	0,911
Počet viditelných listů	0,000	0,708	0,669	0,378

Tabulka 10: Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 18 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě). Průkazné hodnoty Bartlettova testu označené hvězdičkou značí zamítnutí hypotézy o shodnosti rozptylů i po logaritmické transformaci dat (následná analýza Games-Howellův test). Hodnoty označené dvěma hvězdičkami značí potvrzení shody rozptylů po logaritmické transformaci dat (pro následnou analýzu mohl být použit Tukey-Kramerův test).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Pěstování	Genotyp* pěstování	Bartlett'
Relativní obsah vody v listu	0,016	0,099	0,874	0,000 *
Rychlost transpirace	0,745	0,248	0,178	0,037 *
Vodivost průduchů	0,383	0,216	0,009	0,468
WUE	0,023	0,008	0,535	0,052
WUEi	0,094	0,002	0,182	0,988
Rychlost čisté fotosyntézy	0,007	0,000	0,578	0,040 *
F0	0,797	0,028	0,963	0,216
VJ	0,022	0,004	0,281	0,700
VI	0,001	0,005	0,173	0,140
M0	0,264	0,933	0,761	0,492
φ P0	0,300	0,591	0,777	0,044 *
φ E0	0,215	0,000	0,178	0,030 *
φ RE0	0,002	0,016	0,183	0,095
φ D0	0,268	0,685	0,736	0,056 **
ψ 0	0,022	0,004	0,281	0,700
ψ RE0	0,716	0,009	0,026	0,001 *
Δ RE0	0,001	0,041	0,154	0,654
γ RC	0,328	0,155	0,917	0,156
ABS/RC	0,343	0,136	0,092	0,164
TP0/RC	0,573	0,188	0,993	0,250
ET0/RC	0,817	0,010	0,808	0,760
RE0/RC	0,021	0,303	0,720	0,339
D10/RC	0,434	0,292	0,931	0,206
PI ABS	0,106	0,523	0,532	0,261
PI TOTAL	0,021	0,083	0,251	0,504
PRI listu	0,275	0,042	0,677	0,089
NDVI listu	0,000	0,000	0,008	0,429
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,343	0,000	0,527	0,152
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,283	0,000	0,504	0,001 *
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,342	0,000	0,545	0,094
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,719	0,006	0,239	0,482
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,128	0,006	0,647	0,001 *
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,036	0,004	0,331	0,003 *
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,106	0,006	0,689	0,001 *
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,118	0,186	0,205	0,020 *
Poměr chlorofylu a/b	0,936	0,000	0,600	0,369
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,017	0,000	0,412	0,046 *
Index poškození membrán	0,000	0,085	0,092	0,604
Koncentrace MDA	0,451	0,027	0,883	0,368
Koncentrace H ₂ O ₂	0,000	0,007	0,283	0,078 **
Aktivita katalázy	0,049	0,000	0,041	0,000 *
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,069	0,682
Hmotnost celé rostliny sušiny	0,000	0,000	0,067	0,385
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,059	0,772
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,000	0,000	0,037	0,652
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,000	0,002	0,300	0,073
Hmotnost kořenů sušina	0,000	0,124	0,624	0,324
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,022	0,422
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,000	0,000	0,027	0,565
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,216	0,739
Hmotnost listu sušina	0,000	0,000	0,193	0,382
Specifická hmotnost listu	0,010	0,113	0,895	0,689
Plocha listu	0,000	0,000	0,179	0,292
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,000	0,000	0,019	0,417
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	0,041	0,111	0,824	0,788
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,005	0,001	0,658	0,870
Počet plně vyvinutých listů	0,008	1,000	0,562	0,785
Počet viditelných listů	0,001	0,048	0,128	0,933

Tabulka 11: Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 32 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě). Průkazné hodnoty Bartlettova testu označené hvězdičkou značí zamítnutí hypotézy o shodnosti rozptylů i po logaritmické transformaci dat (následná analýza Games-Howellův test). Hodnoty označené dvěma hvězdičkami značí potvrzení shody rozptylů po logaritmické transformaci dat (pro následnou analýzu mohl být použit Tukey-Kramerův test).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Pěstování	Genotyp* pěstování	Bartlett'
Relativní obsah vody v listu	0,239	0,202	0,331	0,152
Rychlost transpirace	0,802	0,824	0,161	0,594
Vodivost průduchů	0,569	0,474	0,023	0,295
WUE	0,886	0,002	0,070	0,000 *
WUEi	0,830	0,074	0,176	0,010 *
Rychlost čisté fotosyntézy	0,273	0,000	0,001	0,005 *
F0	0,001	0,260	0,427	0,176
VJ	0,061	0,045	0,597	0,109
VI	0,716	0,009	0,026	0,010 *
M0	0,002	0,220	0,207	0,063
φ P0	0,026	0,453	0,210	0,001 *
φ E0	0,653	0,002	0,404	0,442
φ RE0	0,130	0,003	0,027	0,069 **
φ D0	0,024	0,555	0,290	0,001 *
ψ 0	0,061	0,045	0,597	0,109
ψ RE0	0,716	0,009	0,026	0,010 *
Δ RE0	0,958	0,018	0,096	0,000 *
γ RC	0,005	0,476	0,149	0,010 *
ABS/RC	0,007	0,412	0,173	0,005 *
TP0/RC	0,008	0,974	0,378	0,034 *
ET0/RC	0,737	0,039	0,333	0,001 *
RE0/RC	0,137	0,005	0,065	0,007 *
DI0/RC	0,022	0,467	0,042	0,000 *
PI ABS	0,000	0,265	0,068	0,018 *
PI TOTAL	0,042	0,011	0,333	0,051
PRI listu	0,017	0,158	0,577	0,001 *
NDVI listu	0,014	0,000	0,379	0,020 *
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,000	0,000	0,002	0,897
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,003	0,000	0,434	0,001 *
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,000	0,000	0,004	0,656
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,083	0,000	0,070	0,373
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,000	0,000	0,051	0,671
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,000	0,000	0,368	0,015 *
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,000	0,000	0,052	0,487
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,000	0,004	0,008	0,054 **
Poměr chlorofylu a/b	0,216	0,061	0,904	0,049 *
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,001	0,002	0,548	0,070
Index poškození membrán	0,710	0,098	0,913	0,108
Koncentrace MDA	0,015	0,010	0,217	0,000 *
Koncentrace H ₂ O ₂	0,007	0,510	0,055	0,001 *
Aktivita katalázy	0,283	0,005	0,767	0,000 *
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,055	0,623
Hmotnost celé rostliny sušiny	0,000	0,000	0,039	0,873
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,055	0,055
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,000	0,000	0,030	0,905
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,099	0,099
Hmotnost kořenů sušina	0,000	0,002	0,186	0,235
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,004	0,352
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,000	0,000	0,013	0,550
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,000	0,000	0,003	0,115
Hmotnost listu sušina	0,000	0,000	0,008	0,298
Specifická hmotnost listu	0,003	0,000	0,656	0,438
Plocha listu	0,000	0,000	0,006	0,586
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,000	0,000	0,001	0,725
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	0,215	0,000	0,812	0,401
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,031	0,000	0,835	0,137 **
Počet plně vyvinutých listů	0,000	0,046	0,755	0,337
Počet viditelných listů	0,003	0,002	0,595	0,873

Tabulka 12: Výsledky analýzy rozptylu (jednoduché třídění) pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (stres) po dobu 10 dní ve stáří 18 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti, jako zdroj variability byly použity genotypy. V případě, že hodnoty Bartlettova testu (B) vyšly u navazujících ANOVA průkazné (*), jsou uvedeny p-hodnoty welch anovy.

Parametr	Kontrola		Stres	
	B	p-hodnota	B	p-hodnota
Rychlost transpirace	0,608	0,007	0,015 *	0,002
Vodivost průduchu	0,743	0,003	0,795	0,003
Rychlost čisté fotosyntézy	0,035 *	0,000	0,034 *	0,002
F0	0,295	0,004	0,000 *	0,280
VJ	0,235	0,024	0,021 *	0,283
ϕ P0	0,153	0,004	0,017 *	0,005
ϕ D0	0,153	0,004	0,017 *	0,005
ψ 0	0,260	0,015	0,036 *	0,049
Δ RE0	0,016 *	0,143	0,002 *	0,046
γ RC	0,453	0,001	0,004 *	0,002
ABS/RC	0,408	0,001	0,000 *	0,002
TP0/RC	0,468	0,002	0,053	0,000
ET0/RC	0,456	0,000	0,030 *	0,406
RE0/RC	0,736	0,000	0,311 *	0,079
DI0/RC	0,096	0,003	0,007 *	0,003
PI ABS	0,506	0,004	0,017 *	0,005
PI TOTAL	0,004 *	0,028	0,171	0,002
Index poškození membrán	0,922	0,000	0,553	0,101
Koncentrace MDA	0,241	0,276	0,003 *	0,178
Koncentrace H ₂ O ₂	0,804	0,003	0,318	0,016
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,051	0,001	0,275	0,000
Hmotnost celé rostliny sušina	0,062	0,008	0,670	0,000
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,036 *	0,015	0,187	0,000
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,045 *	0,012	0,466	0,000
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,264	0,005	0,488	0,000
Hmotnost kořenů sušina	0,188	0,004	0,362	0,000
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,062	0,008	0,008 *	0,000
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,062	0,007	0,370	0,000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,302	0,000	0,444	0,000
Hmotnost listu sušina	0,310	0,000	0,467	0,000
Specifická hmotnost listu	0,003 *	0,470	0,487	0,011
Plocha listu	0,361	0,000	0,769	0,000
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,055	0,002	0,851	0,000
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	0,270	0,001	0,858	0,000
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,105	0,272	0,055	0,003
Počet plně vyvinutých listů	n/a	0,000	n/a	0,000
Počet viditelných listů	0,971	0,004	n/a	0,000

Tabulka 13: Výsledky analýzy rozptylu (jednoduché třídění) pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročních kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (stres) po dobu 10 dní ve stáří 32 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti, jako zdroj variability byly použity genotypy. V případě, že hodnoty Bartlettova testu (B) vyšly u navazujících ANOVA průkazné (*), jsou uvedeny p-hodnoty welch anovy.

Parametr	Kontrola		Stres	
	B	p-hodnota	B	p-hodnota
Relativní obsah vody v listu	0,850	0,002	0,046 *	0,099
F0	0,182	0,006	0,004 *	0,066
VJ	0,682	0,001	0,919	0,314
VI	0,073	0,004	0,025 *	0,405
M0	0,448	0,001	0,099	0,310
ϕ P0	0,102	0,003	0,627	0,133
ϕ E0	0,846	0,006	0,117	0,306
ϕ RE0	0,211	0,002	0,142	0,269
ϕ D0	0,102	0,003	0,627	0,133
ψ 0	0,414	0,003	0,919	0,314
ψ RE0	0,152	0,092	0,159	0,004
Δ RE0	0,338	0,086	0,411	0,307
RE0/RC	0,081	0,006	0,451	0,052
PI TOTAL	0,030 *	0,006	0,023 *	0,266
Obsah chlorofylu a (mg/m ²)	0,423	0,075	0,693	0,132
Obsah chlorofylu b (mg/m ²)	0,005 *	0,095	0,452	0,046
Obsah celkového chlorofylu (mg/m ²)	0,223	0,075	0,749	0,144
Obsah celkových karotenoidů (mg/m ²)	0,362	0,530	0,759	0,033
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,006 *	0,045	0,140	0,055
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,001 *	0,015	0,164	0,004
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,002 *	0,037	0,614	0,001
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,003 *	0,172	0,028 *	0,000
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,022 *	0,000	0,198	0,000
Hmotnost celé rostliny sušina	0,117	0,000	0,208	0,000
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,038 *	0,000	0,347	0,000
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,083	0,000	0,273	0,000
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,004 *	0,000	0,055	0,000
Hmotnost kořenů sušina	0,230	0,000	0,071	0,000
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,056	0,000	0,321	0,000
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,042 *	0,000	0,386	0,000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,041 *	0,000	0,760	0,000
Hmotnost listu sušina	0,056	0,000	0,480	0,000
Specifická hmotnost listu	0,281	0,033	0,506	0,011
Plocha listu	0,193	0,000	0,654	0,000
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,112	0,000	0,395	0,000
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	0,859	0,003	0,835	0,028
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,556	0,006	0,664	0,020
Počet plně vyvinutých listů	n/a	0,083	n/a	0,052
Počet viditelných listů	n/a	0,000	n/a	0,033

Tabulka 14: Výsledky analýzy rozptylu (jednoduché třídění) pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (obnova) po dobu 10 dní ve stáří 18 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti, jako zdroj variability byly použity genotypy. V případě, že hodnoty Bartlettova testu (B) vyšly u navazujících ANOVA průkazné (*), jsou uvedeny p-hodnoty welch anovy.

Parametr	Kontrola		Obnova	
	B	p-hodnota	B	p-hodnota
Relativní obsah vody v listu	0,006 *	0,186	0,010 *	0,076
WUE	0,187	0,377	0,031 *	0,046
Rychlost čisté fotosyntézy	0,005 *	0,153	0,657	0,037
VJ	0,954	0,415	0,526	0,007
VI	0,152	0,092	0,159	0,004
ϕ RE0	0,203	0,181	0,097	0,002
ψ 0	0,954	0,415	0,526	0,007
Δ RE0	0,361	0,037	0,633	0,010
RE0/RC	0,502	0,193	0,140	0,108
PI TOTAL	0,355	0,490	0,012 *	0,009
NDVI listu	0,357	0,050	0,675	0,002
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,019 *	0,112	0,020 *	0,170
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,060	0,442	0,104	0,047
Index poškození membrán	0,733	0,050	0,315	0,000
Koncentrace H ₂ O ₂	0,000 *	0,003	0,293	0,004
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,454	0,000	0,658	0,001
Hmotnost celé rostliny sušina	0,712	0,000	0,220	0,001
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,504	0,000	0,937	0,001
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,744	0,000	0,692	0,001
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,477	0,000	0,016 *	0,001
Hmotnost kořenů sušina	0,759	0,000	0,077	0,001
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,179	0,000	0,695	0,003
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,577	0,000	0,668	0,002
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,483	0,000	0,605	0,001
Hmotnost listu sušina	0,856	0,000	0,097	0,002
Specifická hmotnost listu	0,754	0,136	0,333	0,101
Plocha listu	0,680	0,000	0,081	0,003
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,123	0,000	0,754	0,004
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	0,885	0,271	0,509	0,135
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,535	0,021	0,861	0,203
Počet plně vyvinutých listů	0,454	0,086	0,911	0,066
Počet viditelných listů	0,583	0,003	0,911	0,122

Tabulka 15: Výsledky analýzy rozptylu (jednoduché třídění) pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročních kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (obnova) po dobu 10 dní ve stáří 32 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti, jako zdroj variability byly použity genotypy. V případě, že hodnoty Bartlettova testu (B) vyšly u navazujících ANOVA průkazné (*), jsou uvedeny p-hodnoty welch anovy.

Parametr	Kontrola		Obnova	
	B	p-hodnota	B	p-hodnota
F0	0,148	0,019	0,203	0,025
M0	0,138	0,024	0,062	0,030
ϕ P0	0,123	0,085	0,662	0,030
ϕ D0	0,123	0,085	0,976	0,014
γ RC	0,028 *	0,034	0,955	0,065
ABS/RC	0,017 *	0,043	0,988	0,064
TP0/RC	0,024 *	0,045	0,278	0,173
DI0/RC	0,044 *	0,082	0,041 *	0,001
PI ABS	0,082	0,005	0,386	0,010
PI TOTAL	0,770	0,461	0,111	0,002
PŘI listu	0,007 *	0,174	0,006 *	0,124
NDVI listu	0,002 *	0,209	0,644	0,042
Obsah chlorofylu a (mg/m ²)	0,579	0,001	0,868	0,010
Obsah chlorofylu b (mg/m ²)	0,806	0,042	0,011 *	0,002
Obsah celkového chlorofylu (mg/m ²)	0,815	0,001	0,433	0,002
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,949	0,000	0,417	0,000
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,022 *	0,004	0,163	0,000
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,905	0,000	0,295	0,000
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,118	0,042	0,093	0,013
Koncentrace MDA	0,003 *	0,073	0,000 *	0,134
Koncentrace H ₂ O ₂	0,034 *	0,013	0,001 *	0,071
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	0,579	0,000	0,769	0,004
Hmotnost celé rostliny sušina	0,604	0,000	0,908	0,009
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	0,668	0,001	0,830	0,006
Hmotnost celé nadzemní části sušina	0,636	0,000	0,978	0,019
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa	0,127	0,000	0,222	0,001
Hmotnost kořenů sušina	0,247	0,000	0,182	0,001
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	0,155	0,000	0,915	0,024
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	0,235	0,000	0,893	0,013
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,070	0,000	0,271	0,117
Hmotnost listu sušina	0,131	0,000	0,515	0,041
Specifická hmotnost listu	0,476	0,103	0,489	0,020
Plocha listu	0,295	0,000	0,634	0,004
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	0,327	0,000	0,810	0,006
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	0,076	0,227	0,329	0,329
Počet plně vyvinutých listů	0,169	0,005	0,422	0,055
Počet viditelných listů	0,961	0,005	0,731	0,391

Tabulka 16: Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (stres) po dobu 10 dní ve stáří 18 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy (na hladině významnosti 00,5) jsou označeny písmenem S, n/a značí nedostatek dat.

Parametr	Kontrola						Stres					
	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023
Rychlost čisté fotosyntézy	S			S	S		S			S	S	
Rychlost transpirace	S			S	S		S				S	
Vodivost průduchu	S			S	S		S	S	S	S	S	
Index poškození membrán	S	S	S									
F0		S	S	S	S	S	n/a			n/a	n/a	
VJ	S	S		S	S	S						
φ P0	S		S	S	S	S						
φ D0	S	S	S	S	S							
ψ 0	S	S	S	S	S							
Δ RE0												
γ RC	S	S	S	S	S							
ABS/RC	S	S	S	S	S							
TP0/RC	S	S	S				S	S	S			
ET0/RC	S	S	S	S	S	S				S		
RE0/RC	S	S	S	S	S	S	n/a					
DI0/RC	S	S	S	S	S							
PI ABS	S	S	S	S	S							
PI TOTAL				n/a			S	S	S		S	S
Koncentrace MDA												
Koncentrace H ₂ O ₂	S	S		S	S	S	S	S	S		S	S
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	S	S	S	S	S			S	S	S	S	
Hmotnost celé rostliny sušina	S	S	S	S	S			S	S	S	S	
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	S	S		S	S	S		S	S	S	S	
Hmotnost celé nadzemní části sušina					S			S	S	S	S	
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa		S	S	S	S	S		S	S	S	S	
Hmotnost kořenů sušina	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S	
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	S	S	S	S	S			S	S			
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	S	S	S	S	S			S	S	S	S	
Hmotnost listu čerstvá biomasa	S			S	S			S	S	S	S	
Hmotnost listu sušina	S			S	S			S	S	S	S	
Specifická hmotnost listu							S	S	S	S	S	
Plocha listu			S		S	S		S	S	S	S	
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S	
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu		S		S		S		S	S	S	S	
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)							S	S	S	S	S	S
Počet plně vyvinutých listů	S	S	S				S	S	S			
Počet viditelných listů	S	S	S				S	S	S			

Tabulka 17: Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (stres) po dobu 10 dní ve stáří 32 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S, n/a značí nedostatek dat.

Parametr	Kontrola						Stres					
	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023
Relativní obsah vody v listu	S	S	S	S	S					S		
F0	S	S		S	S	S					S	S
VJ	S		S	S	S	S						
VI	S		S	S	S	S						
M0	S	S	S	S	S							
φ P0	S	S	S	S	S							
φ E0	S		S	S	S	S						
φ RE0	S		S	S	S	S						
φ D0	S	S	S	S	S							
ψ 0	S		S	S	S	S						
ψ RE0							S	S	S			
Δ RE0												
RE0/RC	S		S	S	S	S	S		S	S	S	S
PI TOTAL	S			S						S		
Obsah chlorofylu a LP												
Obsah chlorofylu b LP												
Obsah celkového chlorofylu LP												
Obsah celkových karotenoidů LP							S	S	S		S	S
Obsah chlorofylu a S	S						S	S	S	S	S	
Obsah chlorofylu b S	S				S		S	S	S		S	S
Obsah celkového chlorofylu S	S						S	S	S			
Obsah celkových karotenoidů S	S						S	S	S			S
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa			S		S			S	S	S	S	
Hmotnost celé rostliny sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa			S		S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost celé nadzemní části sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa			S		S			S	S	S	S	
Hmotnost kořenů sušina		S	S	S	S			S	S	S	S	S
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost listu čerstvá biomasa	S			S	S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost listu sušina	S			S	S		S			S	S	
Specifická hmotnost listu	S	S		S	S	S	S		S	S	S	S
Plocha listu	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S	
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů		S	S	S	S			S	S	S	S	
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu	S	S	S	S	S	S						
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	S	S	S	S	S		S		S	S	S	S
Počet plně vyvinutých listů												
Počet viditelných listů	S	S	S				n/a	n/a	n/a		S	S

Tabulka 18: Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (stres) po dobu 10 dní ve stáří 18 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S, n/a značí nedostatek dat.

Parametr	Kontrola						Stres					
	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023
Relativní obsah vody v listu					S						S	
WUE								S	S			
Rychlost čisté fotosyntézy							S	S	S		S	S
VJ							S	S	S	S	S	
VI							S	S	S			
ϕ RE0							S	S	S			
ψ 0							S	S	S	S	S	
Δ RE0	S		S	S	S	S	S	S	S	S	S	
RE0/RC												
PI TOTAL												
NDVI								S	S	S	S	S
Obsah chlorofylu b S				S								
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů												
Index poškození membrán	S	S	S	S	S		S	S			S	S
Koncentrace H ₂ O ₂		S		S			S	S	S	S	S	
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa		S	S	S	S			S	S	S	S	
Hmotnost celé rostliny sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Hmotnost celé nadzemní části sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa		S	S	S	S			S	S		S	
Hmotnost kořenů sušina		S	S	S	S			S	S	S	S	
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Hmotnost listu čerstvá biomasa	S	S	S	S	S	S	S			S	S	
Hmotnost listu sušina	S	S	S	S	S	S	S			S	S	
Specifická hmotnost listu												
Plocha listu		S	S	S	S	S			S		S	S
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Výška rostliny k poslednímu plně vyvinutému listu												
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)	S	S		S	S	S						
Počet plně vyvinutých listů												
Počet viditelných listů	S	S	S									

Tabulka 19: Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody (kontrola) nebo vystavených zaplavení (stres) po dobu 10 dní ve stáří 32 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S, n/a značí nedostatek dat.

Parametr	Kontrola						Stres					
	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023
F0	S	S	S		S	S	S	S	S	S	S	
M0	S	S	S	S	S		S	S	S	S	S	
ϕ P0							S		S	S	S	S
ϕ D0							S	S	S	S	S	
γ RC		S										
ABS/RC		S										
TP0/RC		S										
DI0/RC		S					S		S			
PI ABS	S	S	S				S	S	S	S		S
PI TOTAL							S		S	S	S	S
PRI				S								S
NDVI	S						S		S	S	S	S
Obsah chlorofylu a LP	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S	S
Obsah chlorofylu b LP	S	S		S	S	S				S	S	
Obsah celkového chlorofylu LP	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Obsah chlorofylu a S	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S	
Obsah chlorofylu b S	S	S		S				S	S	S	S	
Obsah celkového chlorofylu S	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S	
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů							S		S	S	S	S
Koncentrace MDA					S							
Koncentrace H ₂ O ₂				S	S			S				
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa	S	S	S	S	S	S	S			S	S	
Hmotnost celé rostliny sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Hmotnost celé nadzemní části čerstvá biomasa	S	S	S	S	S	S	S			S	S	
Hmotnost celé nadzemní části sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Hmotnost kořenů čerstvá biomasa		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S
Hmotnost kořenů sušina		S	S	S	S			S	S	S	S	
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	S	S	S	S	S	S	S	S		S	S	S
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Hmotnost listu čerstvá biomasa		S	S	S	S							
Hmotnost listu sušina		S	S	S	S		S	S		S	S	S
Specifická hmotnost listu							S	S		S	S	S
Plocha listu		S	S	S	S			S	S	S	S	S
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů		S	S	S	S		S	S	S	S	S	
Kolmá výška rostliny (ke špičce listu ve vrcholové růžici)												
Počet plně vyvinutých listů	S	S	S									
Počet viditelných listů	S	S	S	S	S							

Tabulka 20: Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 18 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S.

Parametr	Genotyp			
	2023	CE704	2023xCE704	CE704x2023
F0	s		s	s
ϕ P0	s		s	s
ϕ D0	s			
ψ 0	s		s	
γ RzhC	s		s	
ABS/RC	s		s	
DI0/RC	s		s	
PI ABS	s		s	s
PI TOTAL	s			s
PRI listu	s		s	
Index poškození membrán	s			
Hmotnost listu čerstvá biomasa	s			
Hmotnost listu sušina	s			
Plocha listu	s			

Tabulka 21: Výsledky Tukey-Kramerova testu hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 32 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S.

Parametr	Genotyp			
	2023	CE704	2023xCE704	CE704x2023
Rychlost čisté fotosyntézy			s	s
Vodivost průduchů		s		s
ϕ P0		s	s	s
ϕ D0		s	s	s
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	s	s	s	s
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	s	s	s	s
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	s		s	

Tabulka 22: Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 18 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S.

Parametr	Genotyp			
	2023	CE704	2023xCE704	CE704x2023
Vodivost průduchu		s	s	
ψ RE0		s		s
ABS/RC				
NVDI listu			s	s
Index poškození membrán				s
Hmotnost celé rostliny čerstvá biomasa			s	s
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	s		s	s
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina			s	s
Plocha listu			s	s
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	s		s	s

Tabulka 23: Výsledky Tukey-Kramerova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) v podmínkách dostatku vody nebo vystavených zaplavení po dobu 10 dní ve stáří 32 dní a následnou obnovou trvající 20 dnů. Statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S.

Parametr	Genotyp			
	2023	CE704	2023xCE704	CE704x2023
Vodivost průduchu				
Rychlost čisté fotosyntézy		s		s
VI		s		s
ϕ RE0		s		s
ψ RE0		s		s
Obsah chlorofylu a (mg/m ²)	s	s		s
Obsah celkového chlorofylu (mg/m ²)	s	s		s
Obsah celkových karotenoidů (mg/m ²)		s		s
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů čerstvá biomasa	s	s	s	s
Hmotnost listu čerstvá biomasa			s	s
Hmotnost celé rostliny sušina		s	s	s
Hmotnost celé nadzemní části sušina		s	s	s
Celková hmotnost všech fotosyntetizujících listů sušina	s	s	s	s
Hmotnost listu sušina	s		s	s
Plocha listu	s		s	s
Celková plocha všech fotosyntetizujících listů	s	s	s	s

5.5.2. Shrnutí výsledků

Ze statistického hodnocení vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u rostlin série I, zejména u kontrolních rostlin v případě fotosyntetických parametrů. Naopak u rostlin vystavených stresu zaplavením nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy. V případě morfologických parametrů byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly u rostlin pěstovaných v kontrolních podmínkách, i u rostlin vystavených zaplavení. Nejvíce průkazných rozdílů bylo zjištěno mezi kříženci a rodičovskými liniemi. U parametrů vodního stavu rostlin byly zjištěny průkazné rozdíly u rostlin pěstovaných v kontrolních podmínkách, i u rostlin vystavených zaplavení.

U rostlin série II můžeme sledovat u fotosyntetických parametrů shodný trend jako u rostlin vystavených stresu ve stáří 18 dnů. V případě fotosyntetických pigmentů byly u některých parametrů zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy v podmínkách zaplavení, zatímco v kontrolních podmínkách byly průkazné rozdíly spíše výjimečné. U morfologických parametrů docházelo u rostlin vystavených zaplavení k nárůstu průkazných rozdílů oproti rostlinám série I (tab. 16, 17). V případě dalších studovaných parametrů byly zjištěny průkazné rozdíly jen výjimečně.

U rostlin série I s následnou obnovou je u fotosyntetických parametrů patrný opačný trend než u rostlin vystavených zaplavení bez ohledu na jejich stáří (tab. 16, 17, 18). V případě morfologických parametrů můžeme sledovat podobný trend jako u rostlin vystavených pouze zaplavení ve stáří 32 dní (série II), ale u stresovaných rostlin docházelo ke stírání rozdílů mezi reciprokými kříženci (tab. 18). V případě parametrů poškození buněk byly zjištěny průkazné rozdíly u rostlin pěstovaných v kontrolních podmínkách, i u rostlin původně vystavených zaplavení. U parametrů vodního stavu rostlin a pigmentů dochází oproti sérii I ke stírání rozdílů mezi genotypy (tab. 16, 18).

U rostlin série II s následnou obnovou (tab. 19) můžeme sledovat u fotosyntetických parametrů stejný trend jako u rostlin série I s následnou obnovou (tab. 18), ale docházelo ke stírání rozdílů mezi kontrolními a stresovanými rostlinami. V případě fotosyntetických pigmentů byly u některých parametrů zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy v kontrolních podmínkách i u rostlin, které byly původně vystaveny zaplavení. U morfologických parametrů byl po obnově patrný podobný trend jako u rostlin série II (tab. 17) a série I s následnou obnovou (tab. 18), s rozdílem oproti rostlinám série I s následnou obnovou. U stresovaných rostlin docházelo k neparnému nárůstu rozdílu mezi reciprokými kříženci (tab. 19).

U parametrů vodního stavu rostlin nebyly zjištěny žádné statisticky průkazné rozdíly. V případě parametrů poškození buněk byly zjištěny průkazné rozdíly jenom ve výjimečných případech.

5.5.3. Výsledky korelační analýzy

Mezi studovanými parametry byly zjištěny průkazné pozitivní i negativní korelace, které byly nejčastější u mladších rostlin (série I). V této sérii byla zjištěna pozitivní korelace mezi morfologickými parametry a některými fotosyntetickými parametry, které souvisejí s účinností primární fotosyntézy ($\psi E0$, $\psi RE0$) a indexy zachování energie (PI ABS, PI TOTAL). Méně častá byla pozitivní korelace mezi morfologickými parametry a obsahem fotosyntetických pigmentů. Časté však byly i negativní korelace morfologických parametrů s parametry charakterizujícími primární procesy fotosyntézy. Z těchto pozitivních i negativních korelací nelze vyvodit jednoznačné závěry o vztazích mezi porovnávanými parametry. Negativní korelace byla zjištěna i mezi některými morfologickými parametry a relativním obsahem vody v listu. Pozitivní i negativní korelace byly u této série časté i mezi parametry obsahu pigmentů a primárních procesů fotosyntézy. Pozitivní byla korelace všech parametrů obsahu pigmentů (s výjimkou chl *a/b*) s parametry využití vody. Z parametrů, které charakterizují poškození buněk, bylo nejvíce korelací zjištěno pro katalázu, která vykazovala často pozitivní korelaci s parametry primární fotosyntézy a negativní korelaci s obsahem pigmentů. Pro obsah MDA nebyla zjištěna korelace s fotosyntetickými parametry, ale korelace s obsahem pigmentů byla negativní (tab. 24).

U starších rostlin (série II) bylo zjištěno méně průkazných pozitivních i negativních korelací oproti sérii I. V této sérii byla ve výjimečných případech zjištěna pozitivní korelace mezi morfologickými parametry a fotosyntetickými parametry, které souvisejí s účinností primární fotosyntézy ($\psi E0$) a indexy zachování energie (PI TOTAL). Častěji se však vyskytovala pozitivní korelace mezi morfologickými parametry a obsahem fotosyntetických pigmentů. Častěji, než pozitivní korelace se vyskytovaly negativní korelace mezi morfologickými parametry a parametry charakterizujícími primární procesy fotosyntézy. Negativní korelace byla zjištěna i mezi morfologickými parametry a relativním obsahem vody, ale zde docházelo k opačnému trendu a počet negativních korelací vzrostl. Pozitivní i negativní korelace byly u této série časté i mezi parametry obsahu pigmentů a primárních procesů fotosyntézy, ale podobně jako u morfologických parametrů byly ve srovnání se sérii I méně časté. Pozitivní byla korelace obsahu chlorofylů vyjádřených na jednotku listové plochy s parametrem využití vody. Z parametrů, které charakterizují poškození buněk, bylo nejvíce korelací zjištěno pro obsah peroxidu vodíku, který vykazoval pozitivní i negativní korelaci s parametry primární fotosyntézy a negativní korelaci s obsahem pigmentů. Pro aktivitu

katalázy nebyla zjištěna korelace s fotosyntetickými parametry, ale korelace s obsahem pigmentů byla negativní. Pro obsah MDA nebyla zjištěna žádná korelace (tab. 24).

U rostlin série I s následnou obnovou bylo zjištěno méně průkazných pozitivních i negativních korelací oproti sérii I a II. V této sérii nebyla zjištěna pozitivní korelace mezi morfologickými parametry a fotosyntetickými parametry. Zároveň byla nalezena negativní korelace mezi morfologickými parametry a jedním z parametrů charakterizujících primární procesy fotosyntézy (RE0/RC). Negativní korelace byla zjištěna i mezi morfologickými parametry a relativním obsahem vody, ale podobně jako u série II i zde dochází k nárůstu počtu negativních korelací. Pozitivní i negativní korelace byly u této série méně časté mezi parametry obsahu pigmentů a primárních procesů fotosyntézy. Pozitivní byla korelace všech parametrů obsahu pigmentů (s výjimkou obsahu karotenoidů v přepočtu na plochu listu) s parametry využití vody. Z parametrů, které charakterizují poškození buněk, bylo nejvíce korelací zjištěno, podobně jako u série I, pro katalázu, která vykazovala ve výjimečných případech negativní korelaci s parametry primární fotosyntézy, negativní korelaci s téměř všemi parametry obsahu pigmentů a parametry využití vody. Pro obsah peroxidu vodíku byla zjištěna, podobně jako pro katalázu, negativní korelace s obsahem pigmentů a parametry využití vody. Pro obsah MDA nebyla zjištěna žádná korelace (tab. 26).

U rostlin série II s následnou obnovou byl podobně jako u předchozích sérií zaznamenán pokles průkazných pozitivních i negativních korelací. V této sérii byla ve výjimečných případech zjištěna pozitivní korelace mezi morfologickými parametry (PPVL, PVL) a některými fotosyntetickými parametry (F0, ϕ D0, ABS/RC, TP0/RC, DI0/RC). Vzácné byly i negativní korelace morfologických parametrů s parametry charakterizujícími primární procesy fotosyntézy. Negativní korelace byla zjištěna i u většiny morfologických parametrů a relativním obsahem vody v listu a také s obsahem MDA. Pozitivní i negativní korelace byly u této série časté i mezi parametry obsahu pigmentů a primárních procesů fotosyntézy. Pozitivní byla korelace s obsahem pigmentů na listovou plochu (s výjimkou chl *b*) s parametry využití vody. U parametrů, které charakterizují poškození buněk, byly korelace nalezeny zcela vzácně u katalázy, a to jedna pozitivní Chl *a/b* a jedna negativní s indexem poškození membrán (tab. 27).

6. Diskuze

Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit vliv zaplavení s následnou obnovou na vybrané parametry dvou inbredních linií kukuřice seté (2023, CE704) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023), lišících se fází vývoje na počátku stresové periody. Zajímalo nás zejména, zda a jak se bude lišit reakce odlišných genotypů na stres zaplavením s následnou obnovou.

Dalším cílem bylo zhodnotit vliv zaplavení s následnou obnovou v závislosti na fázi vývoje, ve kterém se rostliny nacházely. Zajímalo nás především, zda a jak se bude lišit reakce odlišných genotypů v závislosti na vývojové fázi, ve které byly vystaveny primárnímu stresu zaplavení a jejich reakce po návratu do optimálních podmínek pěstování. V dostupné literatuře se nachází málo publikací, které se zabývají reakcí různých genotypů v odlišné fázi vývoje na zaplavení a následný návrat do optimálních podmínek. Předpokládali jsme, že vyšší nárůst biomasy u kříženců nemusí být v podmínkách zaplavení výhodou a mohou být vůči stresu citlivější než rodičovské linie. Pro ověření jednotlivých hypotéz jsme zvolili měření takových parametrů, které co nejlépe charakterizují jednak komplexní odpověď na zaplavení a následné obnovení standardních podmínek pěstování (morfologické a fotosyntetické parametry), a jednak specifickou okamžitou odpověď na dané podmínky (parametry vodního stavu rostlin a poškození buněk).

6.1. Morfologické parametry

Produkce rostlinné biomasy je ovlivněna interakcí různých biologických procesů v rostlinném těle (fotosyntéza, příjem minerálních látek, zásobení vodou...atd.). Řadu těchto procesů proto ovlivňuje zaplavení kořenového systému, čímž dochází nepřímo k ovlivnění nadzemní části rostliny.

U morfologických parametrů jsem nejčastěji zjistil průkazné rozdíly mezi rodičovskými liniemi (2023 a CE704) a reciprokými kříženci (2023xCE704 a CE704x2023), méně časté byly rozdíly v rámci rodičovských linií a v rámci kříženců. Zaplavení zpomalilo růst a vývoj rostlin, docházelo ke snížení hmotnosti čerstvé i suché biomasy. Tyto výsledky jsou v souladu s výsledky publikovanými u kukuřice a dalších druhů rostlin (tab. 1) (Zhou *et al.* 1995, Ismail *et al.* 1996, Mielke *et al.* 2003, Onwugbuta-Enyi 2004, Pang *et al.* 2004, Islam *et al.* 2008, Promkhambut *et al.* 2010, Kumar *et al.* 2013, Verna *et al.* 2014, Parad *et al.* 2016, Ghobadi *et*

al. 2017), s výjimkou rostlin, které se během života běžně setkávají se zaplavením (tab. 1). U nich nebyl pozorován výraznější negativní vliv (Chen *et al.*, 2009, Jing *et al.*, 2009, Liu *et al.*, 2015). Po návratu do optimálních podmínek docházelo i nadále k poklesu hmotnosti biomasy, který byl výraznější u starších rostlin hybridních genotypů. To potvrzuje naši hypotézu, že posthypoxie může pro rostliny představovat větší stres než primární zaplavení. U starších rostlin vykazují rodičovské linie lepší vzpamatování oproti křížencům, a mladší rostliny se lépe vyrovnávají s následnou obnovou než starší. Obdobné výsledky byly publikovány i u většiny studovaných druhů rostlin (tab. 1), kdy během zaplavení docházelo, podobně jako v našem případě, k částečnému vzpamatování ze stresu a rozdíly mezi kontrolními a zaplavenými rostlinami se tudíž prohlubovaly (Ismail *et al.*, 1996, Pang *et al.* 2004, Pocięcha *et al.*, 2008, Balakhnina *et al.* 2010, Parad *et al.*, 2016). Naopak plné vzpamatování na úroveň rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách bylo zaznamenáno hlavně u rostlin, které se během svého života setkávají pravidelně se zaplavením (Chen *et al.*, 2009, Jing *et al.*, 2009, Liu *et al.*, 2015).

6.2. Parametry vodního stavu rostlin

Vodní stav rostlin byl hodnocen hlavně podle gazometrických parametrů (rychlost transpirace, vodivost průduchů a efektivní využití vody). Ačkoliv je zaplavení kořenového systému stres způsobený nadbytkem vody, nadzemní část rostliny se kvůli ztrátě hydraulické vodivosti xylému potýká paradoxně s nedostatkem vody. Právě udržení dostatku vody je důležité pro dlouhodobé přežívání rostlin a správný průběh fotosyntézy.

Zaplavení vede u většiny studovaných rostlinných druhů k poklesu rychlosti transpirace (Mielke *et al.* 2003, Onwugbuta-Enyi 2004, Yordanova *et al.* 2007, Du *et al.* 2008, Jing *et al.* 2009, Lone *et al.* 2009, Yin *et al.* 2011, Zhang *et al.* 2015). V naší studii byla ale pozorována zcela odlišná odpověď, kdy zaplavení u mladších rostlin vedlo k nárůstu rychlosti transpirace u všech sledovaných genotypů, s výjimkou linie 2023. Toto odlišné chování linie 2023 by mohlo být způsobeno nedokončeným vývojem listu. U starších rostlin byl během zaplavení zjištěn nárůst rychlosti transpirace u rodičovských linií, což by mohlo souviset se stářím rostlin a předpokladem vyšší odolnosti vůči stresu oproti reciprokým křížencům. Po návratu do optimálních podmínek u mladších rostlin vystavených zaplavení docházelo k poklesu hodnot rychlosti transpirace. V dostupné literatuře byl během obnovy ovšem popsán nárůst hodnot (Ahmed *et al.* 2006, Kumar *et al.* 2013). Tato odlišná reakce by mohla být důsledkem nárůstu

rychlosti transpirace během primárního stresu zaplavením a rostliny se po fázi obnovy poklesem hodnot dostávají na původní hodnoty před samotným zaplavením. U kříženců starších rostlin byl však zaznamenán nárůst hodnot, který je způsoben poklesem rychlosti transpirace během zaplavení, což odpovídá dostupné literatuře. Kromě úplného či částečného vzpamatování někteří autoři nezaznamenali téměř žádné vzpamatování u citlivých genotypů vůči zaplavení (Bertolde *et al.* 2012, Verna *et al.* 2014). Z našich výsledků i výsledků dostupných v literatuře tedy vyplývá, že reakce rostlin na hypoxii a posthypoxii může být odlišná v závislosti na druhu a genotypu a může souviset s odlišnou fází vývoje v době stresu i po jeho ukončení.

Zaplavení způsobuje u většiny rostlinných druhů pokles stomatální vodivosti (Mielke *et al.* 2003, Blanke *et al.* 2004, Yordanova *et al.* 2004, Islam *et al.* 2008, Arbona *et al.* 2009, Jing *et al.* 2009 Yin *et al.* 2010, Bertolde *et al.* 2012, Verna *et al.* 2014, Liu *et al.* 2015, Yu *et al.* 2015, Zhang *et al.* 2015, Parad *et al.* 2016). V případě mladších rostlin jsme v naší studii nepotvrdili výsledky publikované v literatuře, nicméně byly zcela v souladu s našimi výsledky měření rychlosti transpirace, a to včetně odlišné reakce u linie 2023. U této linie jsem nepozoroval výše uvedené změny, což mohlo být způsobeno nedokončeným vývojem pozorovaného listového patra. Přesto, že publikované práce většinou uvádějí pokles stomatální vodivosti v důsledku zaplavení, jsou i práce, které odpovídají našim výsledkům (Ismail *et al.* 1996, Promkhambut *et al.* 2010), nebo práce, kde zaplavení nemělo vliv na změny stomatální vodivosti (Yordanova *et al.* 2007). Promkhambut *et al.* (2010) ve své práci předpokládají, že toto odlišné chování je způsobeno vyšší nodací kořenů u jednoho kultivaru *Sorghum bicolor*. Pozitivní korelaci mezi hustotou a délkou kořenů zjistili i Hayashi *et al.* (2013) u *Triticum aestivum*. V naší studii jsme se nodací a délkou kořenů nezabývali, proto jsme tento vztah, který by mohl vysvětlovat odlišné chování stomatální vodivosti a rychlosti transpirace nemohli zaznamenat. Po návratu do optimálních podmínek bylo sledováno podobné chování jako u rychlosti transpirace, a to jak u mladších, tak u starších rostlin. Stejně jako v případě transpirace, odpovídá pokles /nárůst hodnot stomatální vodivosti snaze rostlin obnovit hodnoty před primárním stresem.

V naší studii byl, podobně jako v dostupné literatuře (Ahmed *et al.* 2006, Arbona *et al.* 2009, Bertolde *et al.* 2012), sledován u rostlin vystavených stresu zaplavením pokles efektivity využití vody. U starších rostlin byl pokles hodnot WUE méně výrazný než u mladších rostlin. Na základě výsledků usuzuji, že mladší rostliny jsou citlivější vůči stresu zaplavením. Pokračující pokles WUE po návratu do optimálních podmínek popsali u citlivých genotypů

vůči zaplavení Arbona *et al.* (2009). Pokračující pokles jsme zaznamenali u kříženců mladších rostlin a u všech starších rostlin. Předpokládám, že tento pokles je částečně způsoben narůstajícím stářím rostlin, protože byl sledován i u většiny rostlin pěstovaných po celou dobu pokusu v optimálních podmínkách. Naopak Ahmed *et al.* (2006) zaznamenali po návratu do optimálních podmínek nárůst hodnot, podobně jako jsme sledovali u některých genotypů mladších rostlin. Oproti tomu u druhů, které se opakovaně setkávají se zaplavením, tento parametr není ovlivněn (Mielke *et al.* 2003).

6.3. Fotosyntetické parametry

V naší studii zaplavení ovlivnilo rychlost čisté fotosyntézy. Podobně jako v pracích autorů Ismail *et al.* (1996), Ahmed *et al.* (2002), Mielke *et al.* (2003), Bragina *et al.* (2004), Yordanova *et al.* (2005), Yordanova *et al.* (2007), Hossain *et al.* (2009), Jing *et al.* (2009), Yin *et al.* (2010), Bertolde *et al.* (2012), Verna *et al.* (2014), Liu *et al.* (2015), Zhang *et al.* (2015) byl sledován pokles rychlosti fotosyntézy. Nejvíce byly zaplavením ovlivněny mladší rostliny, u kterých došlo k výraznějšímu poklesu hodnot. Tyto výsledky plně odpovídají výsledkům, které publikovali Zhou *et al.* (1995), Pocięcha *et al.* (2008) a Islam *et al.* (2008), kteří rovněž pozorovali reakci rostlin v odlišné fázi vývoje. Po návratu rostlin do optimálních podmínek nedocházelo k plnému vzpamatování ani u starších, ani u mladších rostlin. Podobně jako v naší studii, částečné vzpamatování během následné obnovy zaznamenali Pocięcha *et al.* (2008), Verna *et al.* (2014) a u citlivých genotypů Kumar *et al.* (2013). U rostlin, které se pravidelně setkávají se zaplavením či jsou vůči zaplavení tolerantní, docházelo k plnému vzpamatování (Ismail *et al.* 1996, Nicolás *et al.* 2005, Liu *et al.* 2015).

Účinnost primárních fotosyntetických procesů jsem posuzoval na základě měření parametrů fluorescence chlorofylu *a*. V dostupné literatuře se ale v souvislosti se zaplavením většinou zabývají pouze základními parametry, které jsme pro naši studii nezvolili. My jsme se zabývali detailnějšími parametry, které nám ukázaly důkladnější pohled na zasažení fotosyntézy zaplavením. Přesto analýza těchto základních parametrů ukázala citelné ovlivnění fotosyntézy zaplavením (tab. 1). Z našich výsledků však můžeme obecně říci, že zaplavení ovlivňuje elektron-transportní řetězec a během následné obnovy nedocházelo k plnému vzpamatování. Jedinou výjimkou byl kvantový výtěžek toku přenosu elektronu z QA na QB ($\phi E0$), kdy během zaplavení u mladších rostlin došlo k mírnému nárůstu hodnot. Toto odlišné chování mohlo být s největší pravděpodobností způsobeno např. cyklickým přenosem elektronů

okolo PSII. Tento jev byl zaznamenán už dříve při stresu nadměrným ozářením (Prasil *et al.*, 1996, Myiake a Okamura 2003). Nicméně během zaplavení se jedná pouze o domněnku. Zaplavení celkově ovlivňuje primární fotosyntetické procesy. Podobně jako u většiny studovaných parametrů jsou nejvíce ovlivněny mladší rostliny. Nejcitlivěji reaguje linie 2023, což potvrzuje její zvýšenou citlivost vůči abiotickým stresům, ale překvapivě se nejlépe přizpůsobuje návratu do optimálních podmínek. Na základě čehož usuzuji, že tato linie je citlivá vůči zaplavení podobně jako je citlivá vůči chladu a suchu, ale v případě návratu do optimálních podmínek pěstování pro ni posthypoxie nepředstavuje větší stres než samotné zaplavení.

Kromě rychlosti fotosyntézy, také zaplavení ovlivňuje také obsah fotosyntetických pigmentů. V naší studii vedlo zaplavení ke snížení obsahu chlorofylů u mladších i starších rostlin. Jedná se o obvyklou reakci rostlin na stres, která byla v literatuře opakovaně potvrzena. Pokles obsahu chlorofylů popsali u různých druhů rostlin např. Zhou *et al.*, 1995, Liu *et al.*, 1996, Bennicelli *et al.*, 1998, Bragina *et al.* (2004), Ashraf *et al.* 2005, Yordanova *et al.*, 2007, Panda *et al.*, 2008, Jing *et al.*, 2009, Balakhnina *et al.*, 2010, Celik *et al.*, 2011, Bertolde *et al.*, 2012, Zhang *et al.*, 2015, Yu *et al.*, 2015, Ghobadi *et al.*, 2017. Du *et al.* (2012) ve své práci považuje redukce chlorofylů jako druh ochranného mechanismu, který vede ke snížení absorpce slunečního záření, čímž se rostlina snaží zabránit foto oxidaci. Naopak Candan *et al.*, (2012) předpokládá, že pokles koncentrace chlorofylů souvisí s foto oxidací způsobenou oxidativním stresem. Po návratu do optimálních podmínek jsme zjistili částečnou obnovu hodnot, což je opět v souladu s literaturou Pang *et al.* (2004), Sairam *et al.* (2009), Balakhnina *et al.* (2010), Du *et al.* (2012). Byly však publikovány i práce, v nichž autoři zjistili plnou obnovu hodnot obsahu chlorofylů po ukončení stresu zaplavením a návratu rostlin do optimálních podmínek pěstování Pang *et al.* (2004) u odolných genotypů *Hurdeum vulgare* a Chen *et al.* (2010) u *Typha domingensis*, která je během života pravidelně vystavována zaplavení a dokáže se s následky zaplavení vyrovnat. Verma *et al.*, (2014) sledovali u *Jatropha curcas* během prvního týdne obnovy pokračující pokles hodnot, který byl po určité době obnovy následován nárůstem hodnot obsahu pigmentů, ale k plnému vzpamatování nedocházelo.

Podobně jako u obsahu chlorofylů, docházelo během vystavení stresu zaplavením i k poklesu obsahu karotenoidů, který byl výraznější u linie 2023, což mohlo být způsobeno nedokončeným vývojem studovaného listu. Podobně jako v naší studii, zaznamenali pokles obsahu karotenoidů Bennicelli *et al.* (1998), Balakhnina *et al.* (2010), Du *et al.* (2012). Simova-Stoilova *et al.* (2012), Kumar *et al.* (2013), zatímco jiní autoři uvádějí jeho nárůst v důsledku zaplavení (Candan *et al.*, 2012, Zhang *et al.*, 2015). Odlišná odpověď karotenoidů

na zaplavení je způsobena jejich schopností vystupovat jako antioxidanty, a tedy mohou mít ochrannou roli během vystavení stresu zaplavením. Po návratu do optimálních podmínek docházelo u mladších rostlin alespoň k částečnému vzpamatování s výjimkou linie 2023, kde bylo sledováno plné vzpamatování. Opačně však reagovaly na obnovu starší rostliny, u kterých jsme pozorovali pokles obsahu karotenoidů (s výjimkou linie 2023). Podobně jako v našem případě, byly publikovány práce, které uvádějí jak částečné či úplné vzpamatování (Du *et al.*, 2012), tak i pokračující pokles obsahu karotenoidů během následné obnovy (Balakhnina *et al.*, 2010).

6.4. Antioxidanty

V rostlinné buňce se nachází několik antioxidačních systémů odbourávajících peroxid vodíku. Nejčastěji je posuzována aktivita katalázy, kterou jsme zvolili jako charakteristiku aktivity antioxidačních systémů v souvislosti se stresem zaplavením i v naší studii.

V literatuře jsou publikovány zcela nejednotné výsledky hodnot aktivity katalázy v souvislosti se stresem zaplavením. Příčinou mohou být odlišné podmínky stanovení aktivity, odlišné uspořádání pokusu a podmínky pěstování, délka stresu, odlišná reakce různých nepříbuzných druhů rostlin apod. V naší studii vedlo zaplavení u všech sledovaných genotypů ke zvýšení aktivity katalázy, i když zjištěné rozdíly nebyly z důvodu vyšší variability hodnot statisticky průkazné. Vyšší aktivity katalázy zjistili také Yordanova *et al.* (2004), Bin *et al.* (2010) a Verna *et al.* (2014). Častěji sledovanou odpovědí je však počáteční nárůst aktivity na začátku stresu, následovaný jejím poklesem (Ahmed *et al.* 2002, Hossain *et al.* 2009, Yin *et al.* 2009, Jamie *et al.* 2009, Bin *et al.* 2010, Yin *et al.* 2012, Zanandrea *et al.* 2013). Rostliny na počátku stresu mobilizují ochranné systémy jako odpověď na rostoucí množství reaktivních kyslíkových druhů a s postupujícím stresem, kdy dochází k ovlivnění dalších procesů a k vyšší produkci ROS, mohou být obranné reakce utlumeny vlivem rostoucího poškození buněčných struktur. Naopak Yin *et al.* (2012) se ve své práci domnívají, že existuje jiný mechanismus odbourávání H₂O₂ vedle katalázy a AXP a hraje roli během pokračujícího zaplavení. Průběžná měření jsme v naší studii neprováděli z důvodu odlišného uspořádání celého pokusu. U mladších rostlin nejsilněji reagovala linie 2023, což s největší pravděpodobností mohlo být způsobeno ještě nedokončeným vývojem daného listového patra a její vyšší citlivostí vůči abiotickým stresovým faktorům. Naopak odolná linie CE704 dosahovala zejména u starších rostlin nejmenšího nárůstu aktivity. U odolných genotypů vůči zaplavení byla ale sledována

odlišná odpověď, kdy během zaplavení dochází u těchto genotypů k vyššímu nárůstu aktivity katalázy oproti citlivým (Yin et al. 2009, Bin et al. 2010, Yin et al. 2010, Chugh et al. 2012). Z výsledků lze usuzovat, že linie CE704, která je odolná vůči stresu suchem a chladem, nemusí vykazovat i vyšší odolnost vůči zaplavení. Po návratu do optimálních podmínek dochází u původně stresovaných rostlin k poklesu aktivity, která ale i tak zůstává vyšší než u rostlin v pěstovaných po celou dobu v optimálních podmínkách. Tento výsledek se shoduje s prací Verna *et al.* (2014), kteří u *Jatropha curcas* zjistili, že zvýšená aktivita je nejspíše zapříčiněna nedostatečnou expresí enzymů potřebných pro regulace fyziologických, biochemických a metabolických procesů v rostlinném těle. Nicméně předpokládám, že s pokračující obnovou by se mohla aktivita katalázy snížit na úroveň kontrolních rostlin.

6.5. Poškození buněk

Jak již bylo uvedeno v literárním přehledu, zaplavení ve většině případů vede ke zvýšené produkci ROS (Sairam *et al.* 2011). Zvýšená hladina reaktivních kyslíkových druhů může vést k poškození buněčných struktur a procesů, které jsou zásadní pro optimální růst a vývoj rostlin. Nejčastěji jsou zasaženy fotosyntetické procesy, dochází k poškození proteinů, a hlavně membránových lipidů. Pro posouzení míry poškození buněčných membrán se často využívá měření úniku elektrolytu z poškozených buněčných struktur, který způsobuje zvýšení vodivosti pletiva. Tuto charakteristiku jsem použil i ve svých pokusech pro monitorování míry poškození buněčných membrán.

Přesto, že v literatuře byl u kukuřice během zaplavení sledován nárůst indexu poškození membrán (Liu et al. 1996, Yordanova et al. 2007), v naší studii zaplavení nevedlo k významnějšímu poškození membrán, přesto však byl pozorován alespoň trend mírného nárůstu hodnot u starších rostlin vystavených zaplavení. Tato částečně odlišná reakce by mohla být způsobena delší dobou zaplavení u našich rostlin, u nichž mohlo dojít k částečnému přizpůsobení se hypoxickým podmínkám. Odpověď by mohla přinést průběžná měření tohoto parametru, která jsem z důvodu odlišného uspořádání pokusů a cílů práce neprováděl. Odlišné chování bylo pozorováno jen u linie 2023, a to u mladších rostlin, které bylo s největší pravděpodobností způsobeno nedokončeným vývojem listu nebo zvýšenou citlivostí tohoto genotypu vůči abiotickým stresům.

Kromě indexu poškození membrán se pro posouzení poškození buněk velmi často používá také obsah MDA, který odráží stupeň peroxidace membránových lipidů. V naprosté

většině prací autoři pozorovali během zaplavení zvýšení hladiny MDA (Yordanova *et al.* 2007, Yin *et al.* 2009, Yin *et al.* 2010, Simova-stoilova *et al.* 2012, Zananndrea *et al.* 2013, Yu *et al.* 2015, Zhang *et al.* 2015). V naší studii na zaplavení reagovaly nárůstem hodnot MDA především mladší rostliny, u kterých po návratu do optimálních podmínek docházelo k poklesu hodnot téměř na úroveň kontrolních rostlin. Srovnatelné výsledky publikovali Zhou *et al.* (1995) u *Brassica napus*, kdy u rostlin v raném stádiu vývoje docházelo k většímu nárůstu MDA, než u rostlin ve starší fázi vývoje.

Mezi parametry, které udávají míru poškození buněčných membrán, patří také obsah peroxidu vodíku, který hraje roli v celé řadě rostlinných procesů (Bhattacharjee, 2005, Quan *et al.*, 2008), ale ve vysokých koncentracích je pro rostlinou buňku toxický. V naší studii vedlo zaplavení u obou vývojových stádií k nárůstu koncentrace peroxidu vodíku, která byla výraznější u mladších rostlin. Podobné výsledky byly publikovány v naprosté většině prací, v nichž autoři prokázali během zaplavení zvýšení obsahu peroxidu vodíků (Liu *et al.* 1996, Yordanova *et al.* 2004, Jamie *et al.* 2009, Bansal *et al.*, 2012, Chung *et al.* 2012, Zananndrea *et al.* 2013, Zhang *et al.* 2015). V pracích, v nichž byla prováděna průběžná měření obsahu peroxidu vodíku, byl pozorovaný nejprve značný nárůst obsahu, ke kterému docházelo v prvních dnech zaplavení, s následným mírným poklesem, ale výsledné hodnoty byly stále vyšší než u rostlin pěstovaných v kontrolních podmínkách (Yordanova *et al.* 2007, Zananndrea *et al.* 2013). Tento pokles je s největší pravděpodobností zapříčiněn zvýšenou aktivitou antioxidačních mechanismů. I po obnově byl u mladších rostlin patrný překvapivý nárůst hodnot, a to jak u primárně stresovaných genotypů, tak zejména u kříženců kontrolních rostlin. I u starších rostlin byl po obnově patrný nárůst hodnot u rostlin, které neprošly stresem, byl však méně výrazný než u mladších. Nárůst hodnot peroxidu vodíku u kontrolních rostlin odpovídá výsledkům v dostupné literatuře (Dat *et al.* 2000, Bhattacharjee 2005, Quan *et al.* 2008), kdy tento nárůst souvisí s rolí peroxidu vodíků v senescenci rostlin, a tedy s rostoucím stářím rostlin (listu) dochází ke zvyšování koncentrace H_2O_2 v rostlinných orgánech. Odlišného výsledku si však povšimli ve své práci Hossain *et al.* (2009) u rostlin citranelo pěstovaných v kontrolních podmínkách, kdy na konci experimentu byl zjištěn pokles koncentrace H_2O_2 .

7. Souhrn

- Reakce rostlin na stres zaplavením závisí na jejich stáří. Mladší rostliny reagují na zaplavení výrazněji, než rostliny, které byly vystaveny zaplavení v pozdější fázi vývoje, ale oproti starším rostlinám vykazují lepší míru vzpamatování po návratu do optimálních podmínek pěstování.
- Rodičovské linie reagují na primární stres zaplavením a návrat do optimálních podmínek odlišně. Linie 2023 u většiny parametrů reaguje na stres zaplavením citlivěji oproti linii CE704, ale vykazuje lepší přizpůsobení na návrat do optimálních podmínek.
- Linie 2023, která se jeví během zaplavení jako citlivý genotyp vykazuje po návratu do optimálních podmínek u většiny sledovaných parametrů největší míru vzpamatování oproti sledovaným genotypům.
- Během vystavení zaplavení se liší odpověď rodičovských linií (2023 a CE704) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023). Kříženci reagují u většiny parametrů lépe než jejich rodičovské linie. Naopak po návratu do optimálních podmínek pěstování kříženci vykazují u většiny parametrů horší vzpamatování oproti rodičovským liniím.
- Kříženci, během vystavení stresu zaplavením a následným návratem do optimálních podmínek, reagují u většiny sledovaných parametrů podobným způsobem.

8. Seznam použité literatury

- Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., Sakuratani, T. (2002). Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Science*. 163: 117–123.
- Ahmed, S., Nawata, E., Sakuratani, T. (2006). Changes of endogenous ABA and ACC, and their correlations to photosynthesis and water relations in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczak cv. KPS1) during waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*. 57: 278–284.
- Araki, H., Hossain, M. A., Takahashi, T. (2012). Waterlogging and Hypoxia have Permanent Effects on Wheat Root Growth and Respiration. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 198: 264–275.
- Arbona, V., López-climent, M. F., Pérez-clemente, R. M., Gómez-cadenas, A. (2009). Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*. 66: 135–142.
- Asada, K. (1992). Ascorbate peroxidase – a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiologia Plantarum*. 85: 235–241.
- Ashraf, M., Arfan, M. (2005). Gas exchange characteristics and water relations in two cultivars of *Hibiscus esculentus* under waterlogging. *Biologia Plantarum*. 49: 459–462.
- Balakhnina, T., Bennicelli, R., Stępniewska, Z., Stępniewski, W., Borkowska, A., Fomina, I. (2012). Stress responses of spring rape plants to soil flooding. *International Agrophysics*. 26: 347–353.
- Balakhnina, T. I., Bennicelli, R. P., Fomina, I. R. (2010). Oxidative damage and antioxidant defense system in leaves of *Vicia faba* major L. cv. Bartom during soil flooding and subsequent drainage. *Plant and Soil*. 327: 293–301.
- Bansal, R., Prakash, J. (2012). Antioxidative defense system in pigeonpea roots under waterlogging stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 34: 515–522.
- Benešová (2014), Odlišná reakce inbredních a hybridních genotypů kukuřice na sucho: analýza listového proteomu a fotosyntetických procesů, Disertační práce, Univerzita Karlova, Praha.
- Bennicelli, R. P., Stepniewski, W., Zakrzhevsky, D.A., Balakhnina, T.I., Stepniewska, Z., Lipiec, J. (1998). The effect of soil aeration on superoxide dismutase activity, malondialdehyde level, pigment content and stomatal diffusive resistance in maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. 39: 203–211.
- Bertolde, F. Z., Almeida, A.-A.F., Pirovani, C. P., Gomes, F. P., Ahnert, D., Baligar, V. C., Valle, R. R. (2012). Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. *Photosynthetica*. 50(3): 447–457.
- Bhattacharjee, S. (2005). Reactive oxygen species and oxidative burst: Roles in stress, senescence and signal transduction in plants. *Current Science*. 89(7): 1113–1121.
- Bin, T., Shang-zhong, X. U., Xi-ling, Z. O. U., Yong-lian, Z., Fa-zhan, Q. I. U. (2010). Changes of Antioxidative Enzymes and Lipid Peroxidation in Leaves and Roots of Waterlogging-Tolerant and Waterlogging-Sensitive Maize Genotypes at Seedling Stage. *Agricultural Sciences in China*. 9(5): 651–661.
- Blanke, M. M., Cooke, D. T. (2004) Effects of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves. *Plant Growth Regulation*. 42: 153–160.
- Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress. *Annals of Botany*. 91: 179–194.

- Bowler, C., Van Montagu, M., Inzé, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance . *Plant Physiology*. 43: 83-116
- Bragina, T. V., Ponomareva, Y. V., Drozdova, I. S., Grinieva, G. M. (2004). Photosynthesis and dark respiration in leaves of different ages of partly flooded maize seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology*. 51: 341-347
- Candan, N., Tarhan, L. (2012). Tolerance or sensitivity responses of *Mentha pulegium* to osmotic and waterlogging stress in terms of antioxidant defense systems and membrane lipid peroxidation. *Environmental and Experimental Botany*, 75: 83–88.
- Celik, G., Turhan, E. (2011). Genotypic variation in growth and physiological responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to flooding. *African Journal of Biotechnology* 10(38): 7372–7380.
- Dat, J., Vandenabeele, S., Vranova, E., van Montagu, M., Inze, D., van Breusegem, F. (2000). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 57: 779–795
- Du, K.B., Shen, B.X., Xu, L., Tu, B.K., (2008). Estimation of genetic variances in flood tolerance of poplar and selection of resistant F1 generations. *Agroforestry Systems*. 74: 243–257.
- Du, K.B., Xu, L., Wu, H., Tu, B., Zheng, B. (2012) Ecophysiological and morphological adaption to soil flooding of two poplar clones differing in flood-tolerance. *Flora* 207: 96-106.
- Edge, R., McGarvey, D. J., Truscott, T. G. (1997). The carotenoids as anti-oxidants - A review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 41(3): 189–200.
- Else, M.A., Coupland, D., Dutton, L., Jackson, M.B. (2001): Decreased root hydraulic conductivity reduces leaf water potential, initiates stomatal closure and slows leaf expansion in flooded plants of castor oil (*Ricinus communis*) despite diminished delivery of ABA from the roots to shoots in xylem sap. *Physiologia Plantarum*, 111: 46-54
- Ghobadi, M. E., Ghobadi, M., Zebarjadi, A. (2017). Effect of waterlogging at different growth stages on some morphological traits of wheat varieties. *International Journal of Biometeorology*. 61: 635–645.
- Gruszecki, W. I., Strzałka, K. (2005). Carotenoids as modulators of lipid membrane physical properties. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease*. 1740: 108–115.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., (1983). Glutathione and ascorbic acid in spinach (*Spinacia oleracea*) chloroplasts. *Biochemical Journal*. 210: 899–903
- Hatami, M., Ghorbanpour, M. (2014). Defense enzyme activities and biochemical variations of *Pelargonium zonale* in response to nanosilver application and dark storage. *Turkish Journal of Biology*. 38: 130–139.
- Hayashi, T., Yoshida, T., Fujii, K., Mitsuya, S., Tsuji, T., Okada, Y., Hayashi, E., Yamauchi, A. (2013). Maintained root length density contributes to the waterlogging tolerance in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*. 152: 27-35
- Hodges, D. M., Delong, J. M., Forney, C. F., Prange, R. K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 207: 604–611.
- Hossain, Z., López-Climent, M. F., Arbona, V., Pérez-Clemente, R. M., Gómez-Cadenas, A. (2009). Modulation of the antioxidant system in citrus under waterlogging and subsequent drainage. *Journal of Plant Physiology*. 166: 1391-1404
- Hung, W. P., Kao, C. H. (1994). Lipid peroxidation and antioxidative enzymes in senescing tobacco leaves during post-flooding. *Plant Science*. 96: 41–44.
- Chen, F., Xie, Z. (2009). Survival and growth responses of *Myricaria laxiflora* seedlings to summer flooding. *Aquatic Botany*. 90: 333–338.

- Chen, H., Zamorano, M. F., Ivanoff, D. (2010). Effect of Flooding Depth on Growth , Biomass , Photosynthesis , and Chlorophyll Fluorescence of *Typha domingensis*. *Wetlands*. 30: 957–965.
- Chugh, V., Gupta, A. K., Grewal, M. S., Kaur, N. (2012). Response of antioxidative and ethanolic fermentation enzymes in maize seedlings of tolerant and sensitive genotypes under short term waterlogging. *Indian Journal of Experimental Biology*. 50: 577–582.
- Chugh, V., Kaur, N., & Gupta, A. K. (2011). Role of antioxidant and anaerobic metabolism enzymes in providing tolerance to maize (*Zea mays* L.) seedlings against waterlogging. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics* 48: 346–352.
- Islam, M. R., Hamid, A., Karim, M. A., Haque, M. M., Khaliq, Q. A., Ahmed, J. U. (2008). Gas exchanges and yield responses of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes differing in flooding tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 697–707.
- Ismail, M. R., Noor, K. M. (1996). Growth and physiological processes of young starfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under soil flooding. *Scientia Horticulturae*. 65: 229–238.
- Jamei, R., Heidari, R., Khara, J., Zare, S. (2009). Hypoxia Induced Changes in the Lipid Peroxidation , Membrane Permeability , Reactive Oxygen Species Generation , and Antioxidative Response Systems in *Zea mays* Leaves. *Turkish Journal of Biology*. 33: 45–52.
- Janero, D. R. (1990). Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. *Free Radical Biology and Medicine*. 9: 515–540.
- Jing, Y. X., Li, G. L., Gu, B. H., Yang, D. J., Xiao, L., Liu, R. X., Peng, C. L. (2009). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Melaleuca alternifolia* seedlings to flooding and subsequent recovery. *Photosynthetica*. 47(4): 595–601.
- Kumar, P., Pal, M., Joshi, R., Sairam, R. K. (2013). Yield , growth and physiological responses of mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes to waterlogging at vegetative stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 19: 209–220.
- Lin, K. R., Weng, C., Lo, H., & Chen, J. (2004). Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions. *Plant Science*. 167: 355–365.
- Liu, Z., Cheng, R., Xiao, W., Guo, Q., Wang, Y., Wang, N., Wang, Y. (2015). Leaf gas exchange , chlorophyll fluorescence , non-structural carbohydrate content and growth responses of *Distylium chinense* during complete submergence and subaerial re-emergence. *Aquatic Botany*. 124: 70–77.
- Lone, A. A., Warsi, M. Z. K. (2009). Response of Maize (*Zea mays* L.) to excess soil moisture (ESM) tolerance at different stages of life cycle. *Botany Research International* 2 (3): 211–217.
- Mielke, M. S., Almeida, A. F. De, Gomes, P., Aguilar, A. G., Antonio, P., Mangabeira, O. (2003). Leaf gas exchange , chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*. 50: 221–231.
- Miyake, C., Okamura, M. (2003). Cyclic electron flow within PSII protects PSII from its photoinhibition in thylakoid membranes from spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*. 44: 457–462.
- Nicolás, E., Torrecillas, A., Dell, J., Alarcón, J. J. (2005). The effect of short-term flooding on the sap flow , gas exchange and hydraulic conductivity of young apricot trees. *Trees*. 19: 51–57.
- Onwugbuta-Enyi, J. (2004). Water balance and proximate composition in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walps) seedlings exposed to drought and flooding stress. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 8: 55–57
- Panda, D., Sharma, S. G., Sarkar, R. K. (2008). Chlorophyll fluorescence parameters , CO₂ photosynthetic rate and regeneration capacity as a result of complete submergence and subsequent re-emergence in rice (*Oryza sativa* L.), *Aquatic Botany*. 88: 127–133.

- Pang, J., Zhou, M., Mendham, N., Shabala, S. (2004). Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. *Australian Journal of Agricultural Research*. 55: 895–906.
- Parad, G. A., Kouchaksaraei, M. T., Striker, G. G., Sadati S. E., Nourmohammadi, K. (2016). Growth , morphology and gas exchange responses of two-year-old *Quercus castaneifolia* seedlings to flooding stress. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(5): 458–466.
- Pervez, H., Zaidi, S., Rafique, P.K., Raia, N.N., Singha, Srinivasan, G. (2004). Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays* L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. *Field Crops Research*. 90: 189-202
- Pociecha, E., Kos, J. (2008). Effects of root flooding and stage of development on the growth and photosynthesis of field bean (*Vicia faba* L. *minor*). *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 529–535.
- Prasil, O., Kolber, Z., Berry, J. A., Falkowski, P. G. (1996). Cyclic electron flow around photosystem II in vivo. *Photosynthesis Research*. 48: 395-410.
- Promkhambut, A., Younger, A., Polthance, A., Akkasaeng, C. (2010). Morphological and Physiological Responses of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to Waterlogging. *Asian Journal of Plant Sciences*. 9 (4): 183-193.
- Quan, L. J., Zhang, B., Shi, W. W., Li, H. Y. (2008). Hydrogen peroxide in plants: A versatile molecule of the reactive oxygen species network. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(1): 2–18.
- Ramel, F., Birtic, S., Cuine, S., Triantaphylides, C., Ravanat, J.-L., Havaux, M. (2012). Chemical Quenching of Singlet Oxygen by Carotenoids in Plants. *Plant Physiology*, 158(3), 1267–1278.
- Sairam, R. K., Srivastava, G. C. (2001). Water Stress Tolerance of Wheat (*Triticum aestivum* L.): Variations in Hydrogen Peroxide Accumulation and Antioxidant Activity in Tolerant and Susceptible Genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 186: 63–70.
- Sairam, R. K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., Meena, R. C. (2009). Waterlogging-induced increase in sugar mobilization , fermentation , and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*), *Journal of Plant Physiology*. 166: 602–616.
- Sairam, R.K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., Lekshmy, S., Joshi, R., Bhattacharya, P., (2011). NADPH oxidase as the source of ROS produced under waterlogging in roots of mung bean. *Biologia Plantarum*. 55: 741–746.
- Salin, M. L. (1987). Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast, *Physiologia Plantarum*, 70: 681-698.
- Simova-stoilova, L., Demirevska, K., Kingston-smith, A., Feller, U. (2012). Plant Science Involvement of the leaf antioxidant system in the response to soil flooding in two *Trifolium* genotypes differing in their tolerance to waterlogging. *Plant Science*, 183: 43–49.
- Smethurst, C. F., Shabala, S. (2003). Screening methods for waterlogging tolerance in lucerne: comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. *Functional Plant Biology*. 30: 335-343
- Smethurst, C. F., Garnett, T., Shabala, S. (2005). Nutritional and chlorophyll fluorescence responses of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. *Plant and Soil*. 270: 31-45
- Srinivasan, G., Pervez, H. Zaidi, P.H., Singh N.N, Sanchez, C. (2004). Increasing productivity through genetic improvement for tolerance to drought and excess-moisture stress in maize (*Zea mays* L.) *Water in Agriculture*. 116: 227-239
- Stirbet, A. D., Govindjee (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and application of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 104: 236-257.

- Strasser, R. J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Mohanty P., Yunus U., Pathre M. (eds.): *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation*. Taylor and Francis, London, 445-483.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou G.C., Govindjee (eds.): *Chlorophyll a Fluorescence. A Signature of Photosynthesis* (Advances in Photosynthesis and Respiration, Vol. 19). Springer, Dordrecht, 321-362.
- Tan, W., Liu, J., Dai, T., Jing, Q., Cao, W., Jiang, D. (2008). Alterations in photosynthesis and antioxidant enzyme activity in winter wheat subjected to post-anthesis water-logging. *Photosynthetica* 46: 21-27
- Tsikas, D. (2017). Assessment of lipid peroxidation by measuring malondialdehyde (MDA) and relatives in biological samples: Analytical and biological challenges. *Analytical Biochemistry*. 524: 13-30.
- Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*. 151: 59-66.
- Verma, K. K., Singh, M., Gupta, R. K., Verma, C. L. (2014). Photosynthetic gas exchange , chlorophyll fluorescence , antioxidant enzymes , and growth responses of *Jatropha curcas* during soil flooding. *Turkish Journal of Botany*. 38: 130-140.
- Yan, B., Dai, Q., Liu, X., Huang, S., Wang, Z. (1996). Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant and Soil*, 179(2), 261-268.
- Yin, D., Chen, S., Chen, F., Guan, Z., Fang, W. (2009). Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging, *Environmental and Experimental Botany*. 67: 87-93.
- Yin, D., Chen, S., Chen, F., Guan, Z., Fang, W. (2010). Morpho-anatomical and physiological responses of two *Dendranthema* species to waterlogging, *Environmental and Experimental Botany*. 68: 122-130.
- Yong-zhong, L. I. U., Bin, T., Yong-lian, Z., Ke-jun, M. A., Shang-zhong, X. U., Fa-zhan, Q. I. U. (2010). Screening Methods for Waterlogging Tolerance at Maize (*Zea mays* L.) Seedling Stage. *Agricultural Sciences in China*, 9(3): 362-369.
- Yordanova, R. Y., Christov, K. N., Popova, L. P. (2004). Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding, *Environmental and Experimental Botany*, 51: 93-101.
- Yordanova, R. Y., Uzunova, A. N., & Popova, L. P. (2005). Effects of short-term soil flooding on stomata behaviour and leaf gas exchange in barley plants, *Biologia Plantarum*. 49(2), 317-319.
- Yordanova, R., Losanka, Y., Popova, P. (2007). Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants, *Acta Physiologiae Plantarum*, 29: 535-541.
- Yu, B., Zhao, C. Y., Li, J., Li, J. Y., Peng, G. (2015). Morphological , physiological , and biochemical responses of *Populus euphratica* to soil flooding, *Photosynthetica*, 53(1): 110-117.
- Zaidi, P. H., Singh, H. H. (2001). Effect of waterlogging on growth, biochemical composition and reproduction on maize. *Journal of Plant Biology*. 28: 61-70
- Zaidi, P.H., Rafique, S., Singh, N. N. (2003). Response of maize (*Zea mays* L.) genotypes to excess soil moisture stress: Morpho-physiological effects and basis of tolerance. *European Journal of Agronomy*, 19: 383-399.
- Zanandrea, I., Alves, J. D., Deuner, S., Goulart, P. De. F. P., Souza, K. R. D. De., Santos M. De O. (2013). Antioxidative responses and morpho-anatomical adaptations to waterlogging in *Sesbania virgata*, *Trees*, 27: 717-728.
- Zhang, Y., Song, X., Yang, G., Li, Z., Lu, H., Kong, X., Dong, H. (2015). Field Crops Research Physiological and molecular adjustment of cotton to waterlogging at peak-flowering in relation to growth and yield. *Field Crops Research*: 179: 164-172.

- Zhou, W., Lin, X. (1995). Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and seed yield of winter rape (*Brassica napus* L.), *Field Crops Research*, 44: 103–110.
- Ziegler, V. H., Ploschuk, E., Weibel, A., Insausti, P. (2017). Short-term responses to flooding stress of three *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 224: 135–141.